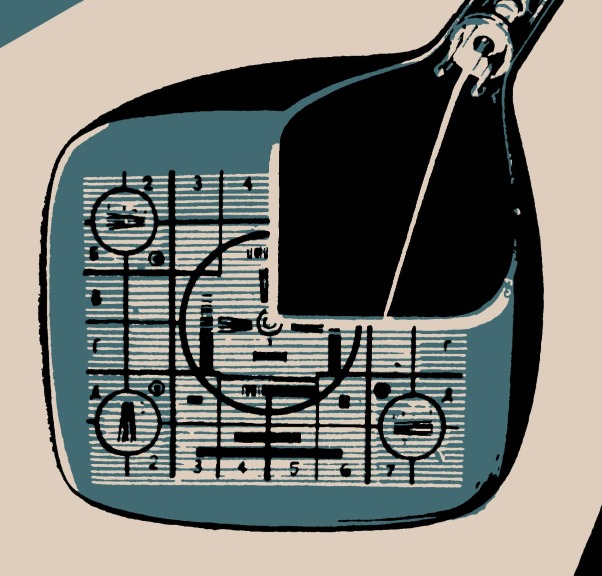
Ю. В. Костыков

Приемные телевизионные трубки





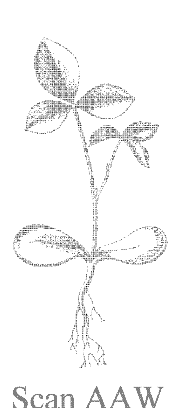
ГОСЭНЕРГОИЗДАТ

МАССОВАЯ РАДИОБИБЛИОТЕКА

Выпуск 445

Ю. В. КОСТЫКОВ

ПРИЕМНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТРУБКИ





ГОСУДАРСТВЕННОЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МОСКВА 1962 ЛЕНИНГРАД

В книге популярно изложены основные положения электронной оптики и физические процессы, происходящие в приемных телевизионных трубках. Приведены также технические параметры и характеристики трубок отечественного производства.

Книга рассчитана на радиолюбителей со средней технической подготовкой, однако может быть использована как справочное руководство и инженерно-техническими работниками, сталкивающимися с использованием приемных телевизионных трубок.

6П2.15 *Костыков Юрий Васильевич*
К 72 **Приемные телевизионные трубки.** М.—Л., Госэнергоиздат, 1962.
72 стр. с илл. (Массовая радиобиблиотека, вып. 445).

6П2.15

Редактор *Ю. Н. Пленкин* Техн. редактор *Л. М. Фридкин*
Обложка художника *А. В. Кувшинникова*

Сдано в пр-во 21/III 1962 г. Подписано к печати 8/VI 1962 г.
Т-08520 Формат бумаги 84×108¹/₃₂ 3,69 печ. л. Уч.-изд. л. 4,6
Тираж 75 000 экз. Цена 18 коп. Заказ 2184

Типография Госэнергоиздата. Москва, Шлюзовая наб., 10.

Глава первая

ОСНОВЫ ЭЛЕКТРОННОЙ ОПТИКИ

Для понимания явлений и процессов, происходящих в телевизионных трубках, необходимо познакомиться с основами электронной оптики.

Электронная оптика — отрасль электроники, изучающая движение заряженных частиц в электрическом и магнитном полях.

Электронной она названа потому, что процессы, происходящие при этом, связаны с движением электронов, а оптикой — потому, что поведение электронных пучков в электрическом и магнитном полях во многом напоминает поведение световых лучей в различных прозрачных средах, изучаемое световой оптикой. Сходство в поведении электронных пучков и световых лучей позволило перенести многие давно известные и хорошо изученные законы световой оптики на оптику электронную, а также широко использовать в электронной оптике терминологию, установившуюся в световой оптике.

1. ЭЛЕКТРОН И ИОН

Электрон — это частица материи, обладающая отрицательным электрическим зарядом e, равным $1{,}592 \cdot 10^{-19}$ *к*.

Масса электрона m_0, находящегося в покое, равна $9 \cdot 10^{-28}$ *г*. Масса двужущегося электрона возрастает согласно выражению

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}, \qquad (1)$$

где v — скорость движения электрона;
c — скорость света.

Практически различие в массах движущегося и неподвижного электрона сказывается только при скоростях, близких к скорости света. Даже при скорости $v = 0{,}1c$ масса электрона возрастает менее чем на 0,5%. Во многие формулы заряд и масса электрона входят в виде отношения $\frac{e}{m}$, равного $1{,}769 \cdot 10^{8}$ *к/г*.

Кроме электронов, в телевизионных трубках образуются еще ионы. Ионами называются атомы какого-либо вещества, потеряв-

шие или, наоборот, захватившие один или несколько электронов и поэтому имеющие соответственно положительный или отрицательный заряд, равный или в целое число раз больший заряда электрона. Масса самого легкого иона — иона водорода — почти в 1 840 раз больше массы электрона. Ионы других веществ имеют еще большую массу.

2. ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

На электрон, находящийся в электрическом поле, действует сила F, равная произведению заряда электрона e на напряженность электрического поля E и направленная против сил поля:

$$F = -eE. \qquad (2)$$

В то же время в соответствии со вторым законом Ньютона эта сила равна:

$$F = am, \qquad (3)$$

где m — масса электрона;
a — ускорение, сообщаемое силой F.

Из выражений (2) и (3) следует, что ускорение a, сообщаемое электрону электрическим полем, равняется:

$$a = -\frac{eE}{m}. \qquad (4)$$

Если начальная скорость электрона равна нулю, а электрическое поле однородно, то под его воздействием (силы F) электрон придет в прямолинейное равномерно-ускоренное движение и приобретет скорость v, зависящую от разности потенциалов U, которую прошел электрон. Кинетическая энергия, приобретенная при этом электроном, будет равна:

$$\frac{mv^2}{2} = eU. \qquad (5)$$

Из этого выражения может быть найдена достигнутая электроном скорость

$$v = \sqrt{\frac{2eU}{m}}. \qquad (6)$$

Скорости электронов в телевизионной технике значительно меньше скорости света, поэтому величину $\frac{e}{m}$ можно считать постоянной. Тогда, выражая U в вольтах, а v в метрах в секунду, получим:

$$v = 5{,}93 \cdot 10^5 \sqrt{U}\,*, \qquad (7)$$

т. е. скорость электрона, приобретенная им в электрическом поле, зависит только от разности потенциалов, пройденной электроном. Это обстоятельство дает право условно исчислять скорость электронов в вольтах, что весьма удобно.

* Если v выразить в *км/сек* и несколько округлить цифры, то получается простое выражение $v = 600\sqrt{U}$ [*км/сек*].

При ускоряющих напряжениях, превышающих 20 *кв*, фактическая скорость электронов оказывается несколько меньше значения, полученного из выражения (7), вследствие возрастания массы электрона. Это отклонение фактической скорости электрона от скорости, рассчитанной по формуле (7), показано графически на рис. 1.

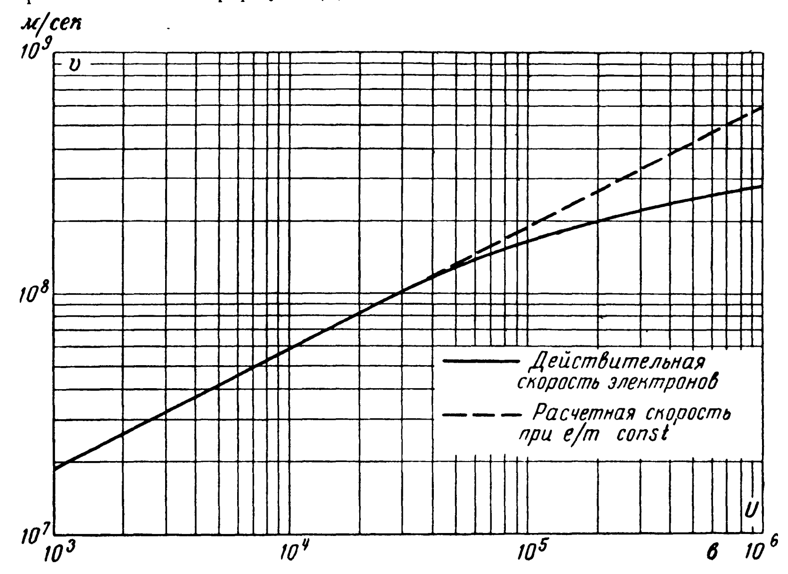


Рис. 1. Зависимость скорости электронов от ускоряющего напряжения.

При начальной скорости электрона, не равной нулю, происходит геометрическое сложение начальной скорости электрона и скорости, приобретенной им в электрическом поле.

Если электрон, имеющий начальную скорость v_0, в момент времени $t=0$ находится в начале координат, а электрическое поле направлено параллельно оси y (рис. 2), то уравнение движения электрона имеет вид:

$$y = \frac{v_{0y}}{v_{0x}} x - \frac{eE}{2mv_{0x}^2} x^2. \tag{8}$$

Для облегчения представлений о движении электронов в электрическом поле следует помнить, что *траектория электрона, движущегося в электрическом поле, подобна траектории тела, движущегося в поле силы тяжести*. Как те, так и другие траектории представляют собой параболы. На рис. 3 показаны траектории электрона, построенные согласно выражению (8) для различных направлений одной и той же начальной скорости v_0.

В телевизионной технике особый интерес представляют следующие частные случаи:

а) $v_{0x}=0$, $v_{0y}=-v_0$, т. е. начальная скорость электрона направлена против сил электрического поля. Сила F, действующая в этом случае на электрон, совпадает с направлением начальной

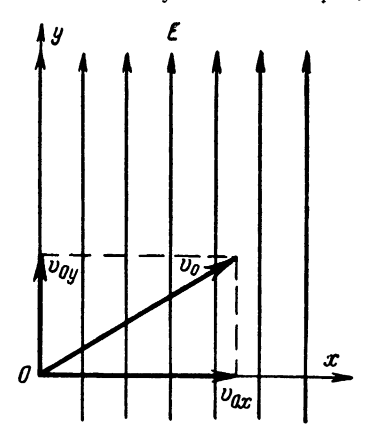


Рис. 2. К уравнению движения электронов в электрическом поле.

Рис. 3. Траектории электронов в электрическом поле при различных направлениях начальной скорости.

скорости. Скорость и кинетическая энергия электрона по мере его движения в поле возрастают. Поле ускоряет движение электрона. Электрон отбирает энергию у поля. Траектория электрона — прямая линия, описываемая уравнением:

$$y=-v_0t+\frac{at^2}{2}=-\sqrt{\frac{2eU}{m}}\,t-\frac{eE}{2m}\,t^2. \tag{9}$$

б) $v_{0x}=0$, $v_{0y}=v_0$, т. е. начальная скорость электрона совпадает с направлением сил электрического поля.

Сила F, действующая на электрон, направлена навстречу направлению начальной скорости. Скорость и кинетическая энергия электрона по мере его движения в поле уменьшаются. Поле тормозит движение электронов. Электрон отдает энергию полю. По израсходовании всего запаса кинетической энергии электрона (при $y=U/E$) он изменит направление и начнет двигаться в обратную сторону. В этом случае уравнение движения электрона примет вид:

$$y=v_0t+\frac{at^2}{2}=\sqrt{\frac{2eU}{m}}\,t-\frac{eE}{2m}\,t^2. \tag{10}$$

в) $v_{0x}=v_0$; $v_{0y}=0$, т. е. начальная скорость электрона направлена перпендикулярно электрическому полю.

В этом случае уравнение движения электрона примет вид:

$$y=-\frac{eE}{2m}\frac{x^2}{v_0^2}=-\frac{E}{4U}\,x^2. \tag{11}$$

Это выражение указывает, что чем больше начальная скорость электрона, тем меньший путь он пройдет под действием электрического поля.

3. ДВИЖЕНИЕ ЭЛЕКТРОНА В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

На электрон, двигающийся в магнитном поле, действует сила

$$F = 4\pi evH \sin\alpha \cdot 10^{-7}, \qquad (12)$$

где e — заряд электрона;
v — скорость его движения;
H — напряженность магнитного поля;
α — угол между векторами $\overline{v}$ и $\overline{H}$.

Эта сила всегда направлена перпендикулярно плоскости, проходящей через направления векторов $\overline{v}$ и $\overline{H}$ (рис. 4).

Из рассмотрения формулы (12) следует:

а) Если электрон неподвижен ($v=0$) или если он движется вдоль магнитного поля ($\alpha=0$), то магнитное поле на него не воздействует ($F=0$).

б) Сила, действующая на электрон, вызывается лишь нормальной (перпендикулярной к полю) составляющей его скорости

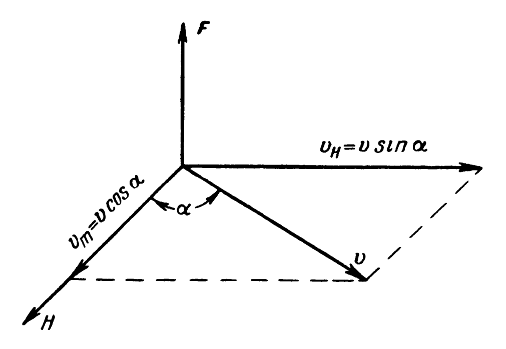


Рис. 4. Направление силы, действующей на электрон, движущийся в магнитном поле.

$v_н = v \sin\alpha$. Тангенциальная в отношении поля составляющая скорости электрона $v_т = v \cos\alpha$ никакого воздействия на электрон не вызывает (рис. 4).

Так как сила, действующая на электрон, всегда перпендикулярна его скорости, то работа, совершаемая этой силой, равна нулю. Кинетическая энергия электрона не изменяется магнитным полем, и скорость его остается постоянной по величине и лишь изменяется по направлению (магнитное поле лишь искривляет траекторию электрона).

В однородном магнитном поле вследствие постоянства его напряженности H и скорости движения электрона v сила, действующая на электрон, также будет постоянна, а следовательно, и кривизна траектории электрона будет во всех точках одна и та же. По-

этому электрон, движущийся в плоскости, перепендикулярной магнитному полю, будет перемещаться по окружности Радиус этой окружности определяется выражением

$$r = \frac{mv}{4\pi eH}\,10^7 = \sqrt{\frac{2\frac{m}{e}}{4\pi}}\,\frac{\sqrt{U}}{H}\,10^7 = 2{,}69\,\frac{\sqrt{U}}{H}. \qquad (13)$$

Период обращения электрона по этой окружности определяется формулой

$$T = \frac{m}{2e}\,\frac{1}{H}\,10^7 = 2{,}84\cdot 10^{-5}\,\frac{1}{H}, \qquad (14)$$

т. е. период обращения электрона зависит только от напряженности магнитного поля и не зависит от его начальной скорости. На этой особенности основано действие магнитных фокусирующих систем.

Если электрон вошел со скоростью v_0 в однородное магнитное поле под углом α, то, как уже отмечалось, тангенциальная состав-

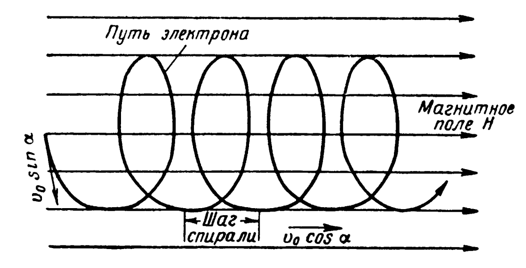


Рис. 5. Траектория электрона, вошедшего в магнитное поле с начальной скоростью v_0, направленной под углом α к направлению поля.

ляющая скорости $v_т = v_0 \cos\alpha$ не будет взаимодействовать с полем, и электрон с этой скоростью будет двигаться вдоль поля. В то же время нормальная составляющая скорости $v_н = v_0 \sin\alpha$ заставит электрон двигаться по окружности. В результате такого комбинированного движения электрон будет перемещаться по спиральному пути (рис. 5).

Шаг спирали S или путь, проходимый электроном благодаря тангенциальной составляющей скорости за время одного оборота, может быть найден по формуле

$$S = Tv_0 \cos\alpha = \frac{m\cdot 10^7}{2eH}\,v_0 \cos\alpha. \qquad (15)$$

Поскольку в телевизионных электронно-лучевых трубках электроны почти всегда поступают в магнитное поле с небольшими углами расхождения, то можно считать, что $\cos\alpha \approx 1$. В таком случае шаг спирали

$$S \approx \frac{10^7}{H}\sqrt{\frac{m}{2e}U} = 16{,}9\,\frac{\sqrt{U}}{H}. \qquad (15а)$$

4. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКАЯ ФОКУСИРОВКА

Общие закономерности. В основе устройств, предназначенных для фокусировки электронных пучков электрическим полем и называемых электростатическими линзами, лежит явление искривления траекторий электронов при прохождении их через электрическое поле. Не искривляясь, электроны могут двигаться прямолинейно и равномерно только там, где нет полей (как электрических, так и

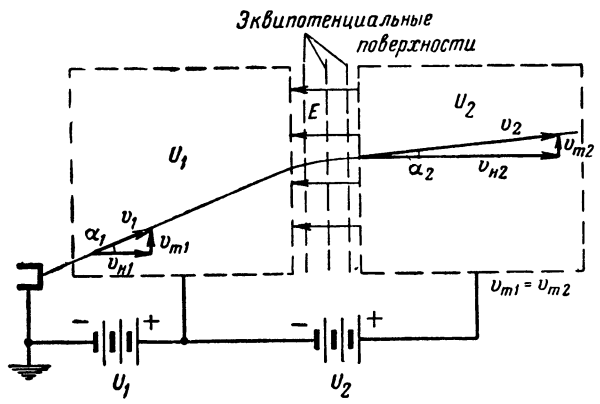


Рис. 6. Преломление электронного луча на границе двух эквипотенциальных областей.

магнитных). В качестве практического примера такого эквипотенциального пространства, где нет электрического поля, может служить полая камера, сделанная из тонкой металлической сетки.

При переходе электрона из одного такого пространства с потенциалом U_1 в другое с потенциалом $U_2 > U_1$ (рис. 6) он в переходной области неизбежно попадает в электрическое поле. Электрические силы этого поля направлены по нормалям к поверхностям раздела, а эквипотенциальные поверхности параллельны им. Поэтому нормальная составляющая скорости электрона при переходе его из одной области в другую возрастет, а тангенциальная — останется неизменной, т. е. $v_{т1} = v_{т2}$ или $v_1 \sin \alpha_1 = v_2 \sin \alpha_2$, откуда

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{\sqrt{U_2}}{\sqrt{U_1}}. \quad (16)$$

Полученное выражение аналогично закону преломления световых лучей на границе раздела двух сред с различными показателями преломления $\left(\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{n_2}{n_1}\right)$. Роль показателя преломления в данном случае играет некоторая величина, пропорциональная $\sqrt{U}$.

Изготовлять электростатические линзы, точно соответствующие оптическим линзам, т. е. со скачкообразным изменением показателя преломления (например, в виде сферических линз, изготовленных

из двух слоев тонкой металлической сетки, на которые поданы соответствующие потенциалы), оказалось нецелесообразным. Линзы получались бы недостаточно «гладкими» и «прозрачными». В то же время оказалось, что электрические поля с эквипотенциальными поверхностями, близкими к сферической форме, можно рассматривать как бесконечно большое число тонких сферических линз, преломление электронных лучей в которых происходит непрерывно и плавно.

Из формулы (16) вытекает полезное для практики правило: *электроны, двигаясь в электрическом поле от низшего потенциала*

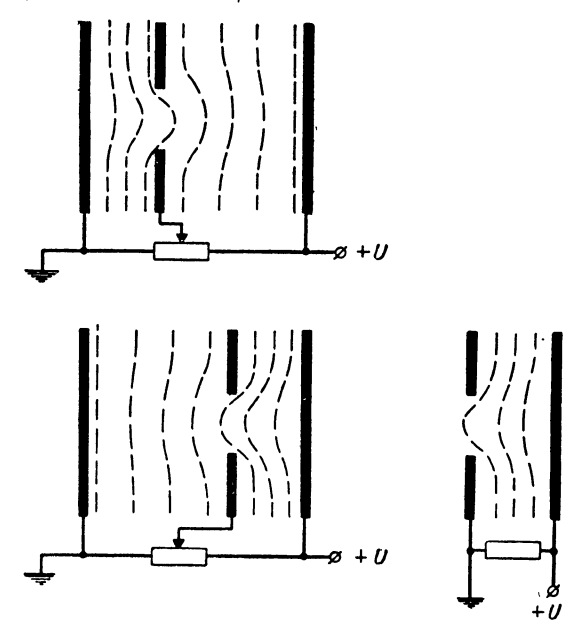


Рис. 7. Формы эквипотенциальных поверхностей электрического поля, разделенного диафрагмой.

к высшему и пересекая эквипотенциальные поверхности, отклоняются в сторону нормалей к этим поверхностям в точке пересечения с ними. Наоборот, двигаясь за счет начальной скорости от высшего потенциала к низшему, они отклоняются от нормалей. Это правило, справедливо при любой форме эквипотенциальной поверхности.

Диафрагмы. Простейшая электростатическая линза — диафрагма, представляющая собой круглый металлический диск с отверстием в центре, который разделяет электрические поля с различной напряженностью. Эквипотенциальные поверхности в этом случае «выпячиваются» через отверстие из той области, где напряженность поля больше, в ту область, где напряженность поля меньше или равна нулю (рис. 7). Такие выпуклые эквипотенциальные поверхности в зависимости от того, в какую сторону они обращены

(в сторону убывания или возрастания потенциала), будут собирать или рассеивать электронные лучи. Примеры вариантов работы диафрагмы даны на рис. 8.

При выяснении вопроса, является ли данная линза собирающей или рассеивающей, кроме изложенного правила, можно также ру-

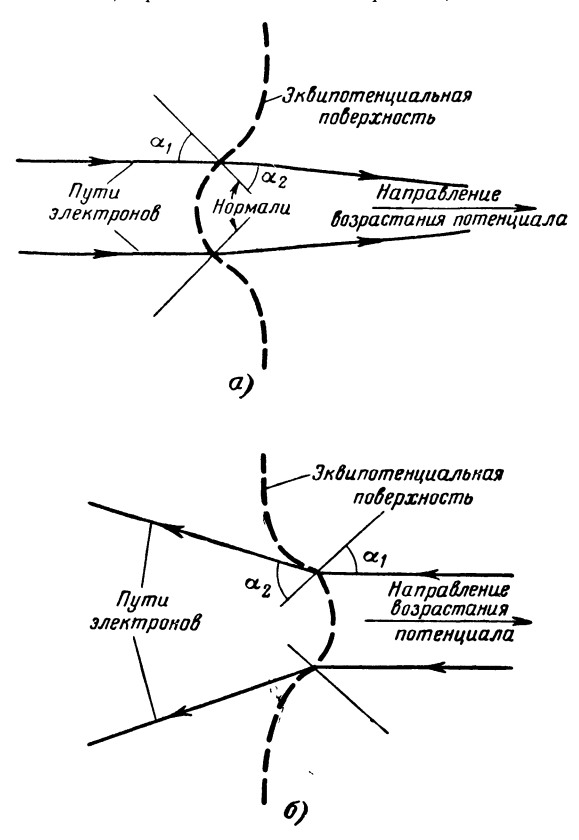


Рис. 8. Отклонение электронов в диафрагме при их движении.
а — в сторону возрастания потенциалов (в ускоряющем поле); *б* — в сторону уменьшения потенциалов (в тормозящем поле).

ководствоваться и аналогией с оптикой. Электронный луч, идущий в направлении возрастания потенциала через эквипотенциальные поверхности, отклонится так же, как оптический луч при прохождении такой же формы преломляющей оптической поверхности (рис. 9).

Ускоряющая (бипотенциальная) линза. Эта линза широко применяется в телевизионных трубках. Она состоит из двух металлических цилиндров, имеющих общую ось. Диаметры цилиндров могут быть как одинаковыми, так и различными. Иногда один из цилин-

дров заменяют проводящим покрытием, нанесенным на стенки колбы. На рис. 10,*а* изображена электростатическая линза, образованная двумя цилиндрами разного диаметра. Первый цилиндр (меньшего диаметра) имеет потенциал меньше потенциала второго цилиндра. Электроны, поступающие со стороны первого цилиндра расходящимся пучком, сконцентрированным вокруг оси системы, попадают на выпуклые эквипотенциальные поверхности, которые действуют как собирательная линза. Пройдя зазор между цилиндрами,

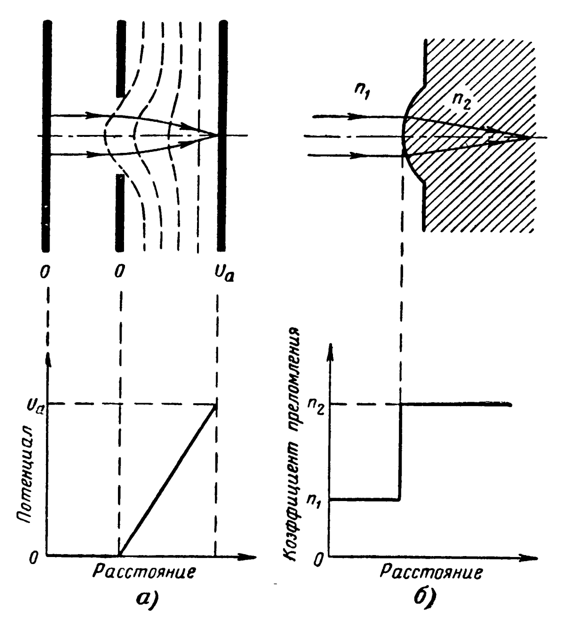


Рис. 9. Собирающая электростатическая линза типа диафрагмы (*а*) и ее оптический аналог (*б*).

электроны попадают на вогнутые эквипотенциальные поверхности, которые действуют уже рассеивающим образом. Хотя поля симметричны, но фокусирующее действие первой части линзы больше, чем рассеивающее действие второй, так как в первой части электроны двигаются относительно медленно, а во второй части с большей скоростью. Поэтому линза в целом действует как собирательная. На рис. 10,*б* изображен оптический аналог такой фокусирующе-рассеивающей системы.

Фокусные расстояния такой бипотенциальной линзы зависят:

а) от величины и отношения потенциалов $\frac{U_2}{U_1}$ (фокусные расстояния уменьшаются, когда потенциалы растут); при пропорциональном изменении потенциалов, когда отношение $\frac{U_2}{U_1}$ остается

неизменным, фокусные расстояния изменяются, но отношение их также остается неизменным;

б) от отношения диаметров цилиндров $\frac{d_2}{d_1}$ (фокусные расстояния увеличиваются, когда увеличивается $\frac{d_2}{d_1}$);

в) от расстояния между цилиндрами (с увеличением расстояния между цилиндрами фокусные расстояния увеличиваются).

Зависимость фокусных расстояний от отношения и величины потенциалов используется для фокусировки электронных лучей в электронно-лучевых трубках. Обычно потенциал второго цилиндра

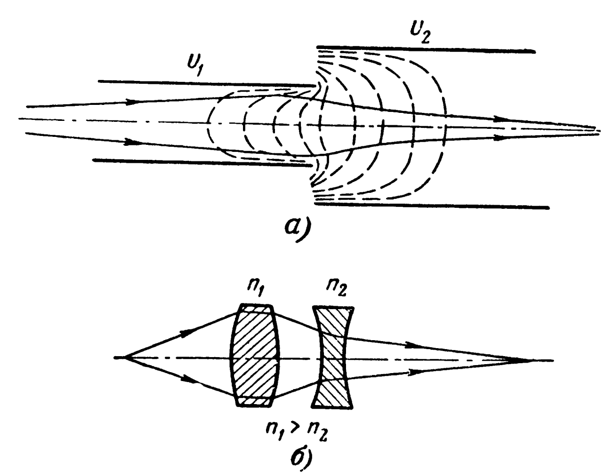


Рис. 10. Ускоряющая линза из двух цилиндров (*а*) и ее оптический аналог (*б*).

(второго анода) устанавливают постоянным, а потенциал первого цилиндра (первого анода) изменяют для осуществления фокусировки.

Симметричная линза. Симметричная линза обычно состоит из трех параллельных металлических дисков с отверстиями в центре (рис. 11). Крайние диски соединены между собой и получают потенциал U_1. Среднему диску задается потенциал U_2. Очевидно, что при $\frac{U_2}{U_1} = 1$ напряженность поля линзы равна нулю и электроны пройдут через нее, не отклоняясь. Фокусные расстояния такой линзы равны бесконечности. С отклонением величины отношения $\frac{U_2}{U_1}$ от единицы фокусные расстояния принимают конечные значения. Пользуясь приведенным выше правилом преломления электронов в электрических полях, нетрудно проследить, что на одних участках пути через линзу электроны концентрируются

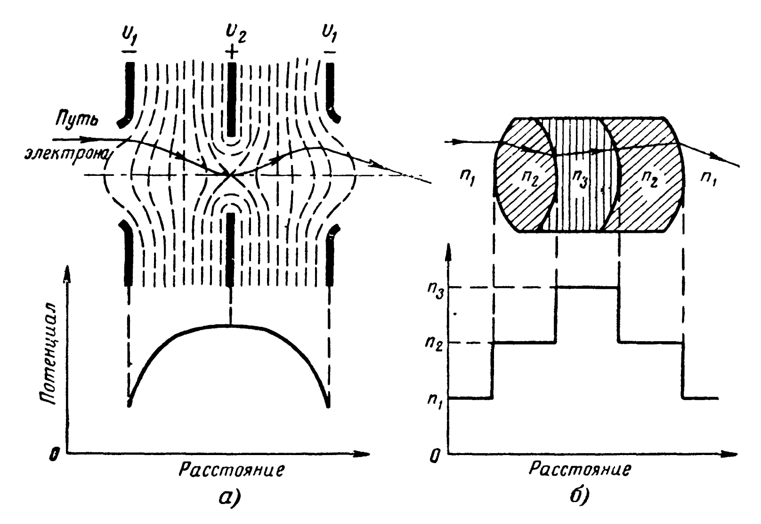


Рис. 11. Симметричная электростатическая линза (*а*) и ее оптический аналог (*б*).

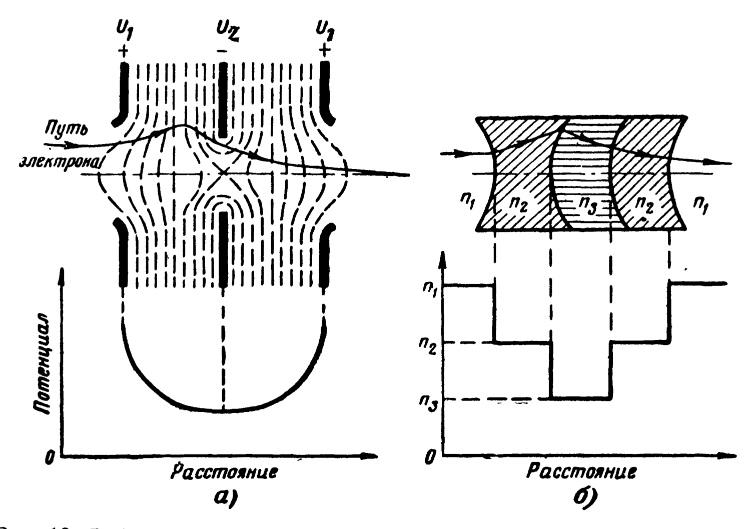


Рис. 12. Работа симметричной электростатической линзы, приведенной на рис. 11, но при подаче на нее напряжения обратной полярности.

а на других—рассеиваются. Однако в целом симметричная линза, независимо от соотношения потенциалов $\left(\frac{U_2}{U_1} > 1 \text{ или } \frac{U_2}{U_1} < 1\right)$, оказывает на электроны собирающее действие.

Характерная особенность симметричной линзы заключается в равенстве ее фокусных расстояний для обоих направлений. Кроме того, фокусное расстояние обычно очень короткое и незначительно изменяется при колебаниях напряжений, питающих электроды.

На рис. 12 приведено изображение траектории электронов для той же линзы, что была изображена на рис. 11, но при подаче на нее напряжений обратной полярности. На обоих рисунках даны оптические аналоги.

Практически обычно на крайних электродах потенциал остается постоянным, а фокусировка луча осуществляется изменением потенциала на среднем электроде. Так как регулировка фокусирующего напряжения более высокого, чем напряжение анода, затруднительна, то большей частью применяют симметричные линзы с отношением $\frac{U_2}{U_1} < 1$.

5. МАГНИТНАЯ ФОКУСИРОВКА

Фокусировка электронных лучей может осуществляться также магнитным полем, которое обычно создается при помощи катушек, обтекаемых постоянным током. В некоторых случаях поле может быть также создано постоянными магнитами. Находят применение длинные и короткие магнитные линзы. Механизм фокусировки каждой из них существенно различен.

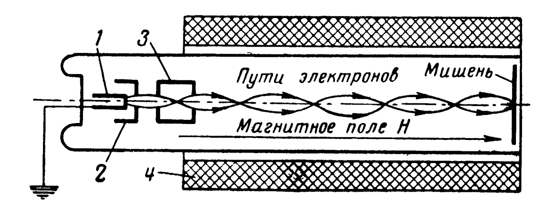


Рис. 13. Длинная магнитная линза

1—катод; *2*—управляющий электрод; *3*—анод; *4*—фокусирующая катушка.

Длинная магнитная линза. Поле длинной магнитной линзы должно быть однородным и параллельным оси системы по всему пути движения электронов от катода до мишени. Такое поле может быть создано цилиндрической фокусирующей катушкой (соответствующей длины), охватывающей данную трубку (рис. 13). Электроны, вылетающие из катода параллельно оси трубки, не подвергаются воздействию магнитного поля. Электроны, вылетающие под некоторым углом α к оси (рис. 14,*а*), имеют как продольную (осевую или тангенциальную), так и радиальную (нормальную) составляющие скорости. Продольная составляющая скорости $v_{\text{пр}} = v \cos \alpha$

не взаимодействует с магнитным полем H, а только заставляет электрон двигаться поступательно вдоль оси трубки. Радиальная составляющая скорости $v_p = v \sin \alpha$ приводит к появлению силы F согласно выражению (12) стремящейся заставить электрон двигаться по окружности. В итоге результирующая траектория электрона будет представлять собой спираль радиусом $r = 2{,}69 \frac{\sqrt{U_a}}{H}$ с периодом одного оборота $T = 2{,}84 \frac{10^{-5}}{H}$ и шагом $S = 16{,}9 \frac{\sqrt{U_a}}{H}$.

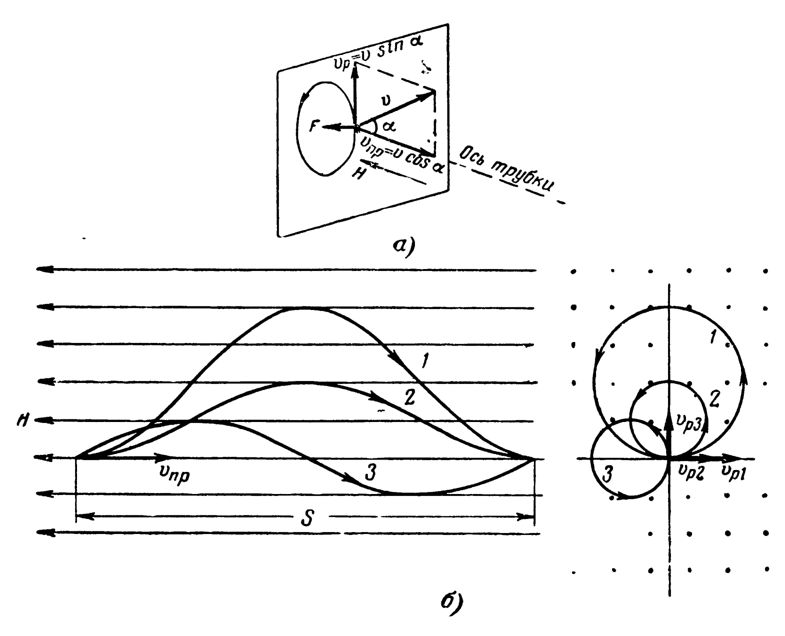


Рис. 14. Движение электронов в поле длинной магнитной линзы.
а — проекция траектории электрона на плоскость, перпендикулярную оси трубки; *б* — траектории электронов и их проекции.

Так как период T и шаг S не зависят от радиальной составляющей скорости электронов, то все электроны, вылетевшие из какой-то одной точки, совершив один оборот радиусом, пропорциональным $v \sin \alpha$, опять соберутся в одной точке, и это будет повторяться после каждого оборота.

Проекции траекторий электронов на плоскость, перепендилярную оси, представляют собой окружности, проходящие через точку выхода электронов (рис. 14,*б*). Положение этих окружностей определяется направлением начальных скоростей электронов относительно оси трубки.

«Тонкая» магнитная линза. «Тонкая» магнитная линза образуется магнитным полем, создаваемым короткой фокусирующей катушкой, длина которой существенно меньше ее диаметра. Поле такой катушки действует на электронный луч лишь на незначительной части его траектории. Как объект, так и изображение, создаваемое такой линзой, находятся вне ее поля (рис. 15).

Электроны, выходящие из точки O со скоростью v под некоторым углом α к оси линзы (рис. 15,*а*), сначала, находясь вне поля линзы, движутся прямолинейно. Затем, по мере захода в область действия поля линзы, электроны начинают подвергаться в соответствии с выражением (12) воздействию силы, направленной перпендикулярно векторам $\bar{v}$ и $\bar{H}$ (на рис. 15,*а* от плоскости чертежа к читателю) [1]. В результате воздействия этой силы электрон приобретает круговую (вращательную) составляющую скорости v_θ. Взаимодействие этой составляющей скорости с продольной (осевой) составляющей магнитного поля $H_{пр}$ приведет в свою очередь к появлению новой силы, направленной к оси и создающей фокусировку.

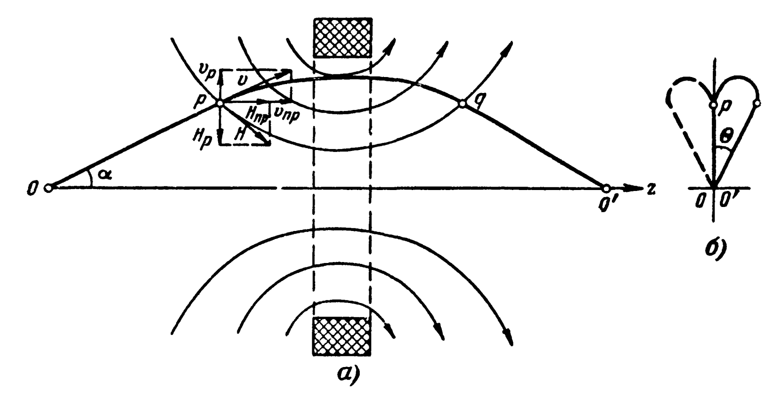


Рис. 15. Движение электронов в поле „тонкой" магнитной линии.

За средней плоскостью катушки направление радиальной составляющей поля $H_р$ меняется на обратное (она направлена от оси). Это приведет к изменению направления силы, создающей вращательную составляющую скорости, вследствие чего последняя начнет уменьшаться лишь по величине, но не изменит своего направления, и направление силы, прижимающей электроны к оси, останется неизменным.

По выходе электрона из поля катушки (точка q, рис. 15,*а*) «закручивание» прекращается, и электрон опять начинает двигаться прямолинейно.

---

[1] Строго говоря, взаимодействуют составляющие $H_{пр}$ с $v_р$ и $H_р$ с $v_{пр}$, но так как при малых углах α (а в телевизионных трубках угол α всегда мал) $v_{пр} \gg v_р$, а $H_{пр}$ и $H_р$ одного порядка, то практически можно учитывать только силу, обусловленную взаимодействием $H_р$ и $v_{пр}$.

Так как с удалением от оси радиальная составляющая поля возрастает, то возрастает и сила, прижимающая электрон к оси. Поэтому на электроны, вылетающие под бо́льшими углами из точки O, действует бо́льшая прижимающая сила, и все они пересекаются с осью в одной и той же точке O', давая изображение точки O.

Если смотреть вслед летящему электрону, то проекция его траектории на плоскость, перпендикулярную оси, имеет вид, изображенный на рис. 15,*б*. До попадания в поле линзы электроны движутся прямолинейно и поднимаются на некоторый отрезок над осью (до точки p). С момента, когда поле начнет оказывать свое влияние, траектория электрона начнет «закручиваться» и при достаточной напряженности поля «закрутится» настолько, что вместо удаления от оси она станет приближаться к ней. Выйдя из поля линзы (точка q), электроны пройдут прямолинейно некоторый участок и в точке O' пересекут ось линзы.

До входа в поле линзы вектор скорости лежал в плоскости чертежа на рис. 15,*а* и по вертикали на рис. 15,*б*. По выходе же из поля линзы плоскость, содержащая вектор скорости, повернется вокруг оси z на некоторый угол θ. При изменении направления тока через катушку изменятся одновременно направления продольной составляющей магнитного поля $H_{\text{пр}}$ и вращательной составляющей скорости v_θ. Сила же, обусловленная взаимодействием этих составляющих, не изменится и будет по-прежнему прижимать электроны к оси, таким образом, линза останется собирательной. Отличие будет заключаться лишь в том, что «закручивание» электронов будет производиться в другую сторону, как показано на рис. 15,*б* пунктиром.

Фокусное расстояние „тонкой“ магнитной линзы может быть подсчитано по формуле

$$f \approx \frac{8m}{3\pi^3 e\mu_0^2}\frac{U_{\text{а}}d}{(Iw)^2} = 49\frac{U_{\text{а}}d}{(Iw)^2}, \qquad (17)$$

где $U_{\text{а}}$ — ускоряющее напряжение;
d — средний диаметр фокусирующей катушки;
(Iw) — число ампер-витков катушки.

Фактически численный коэффициент, входящий в формулу, имеет несколько большее значение (50—55).

6. РАЗЛИЧИЯ МЕЖДУ СВЕТОВОЙ ОПТИКОЙ И ЭЛЕКТРОННОЙ

Хотя в поведении световых и электронных лучей есть много общего, тем не менее между ними имеются и существенные отличия.

Свет преломляется на границе раздела двух сред с различными коэффициентами преломления. Между этими границами он распространяется прямолинейно. Преломление электронных лучей происходит непрерывно и плавно. В связи с этим электронно-оптические системы не имеют явно выраженных границ.

Оптические линзы с обеих сторон ограничены обычно одной и той же средой. По этой причине они характеризуются единым значением фокусного расстояния независимо от направления хода лу-

чей. Электронные линзы с разных сторон имеют как бы различные среды, обусловленные различными потенциалами. Поэтому при проходе электронов через линзу с разных направлений фокусные расстояния ее различны.

Фокусное расстояние и светосила оптической линзы постоянны. Фокусные расстояния и «светосила» электронной линзы могут изменяться в широком диапазоне путем изменения потенциалов на электродах или токов в фокусирующих катушках. То же можно сказать и о показателях преломления, причем соотношение их в электронной оптике может быть сделано гораздо бóльшим, чем в световой, где оно не превышает нескольких единиц.

В световой оптике имеется возможность изготовить линзы с поверхностями практически любой формы, что очень важно при борьбе с искажениями оптических изображений. В электронной оптике форма полей не может быть задана произвольно, что затрудняет борьбу с искажениями.

Присутствие световых лучей не влияет на свойства оптических линз, тогда как электронные лучи своими пространственными зарядами могут заметно изменить поле электронной линзы, да и внутри самого электронного луча происходит взаимное «расталкивание» электронов. Все это может привести к появлению искажений, не имеющих аналогий в световой оптике.

7. АБЕРРАЦИЯ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛИНЗ

Теоретически электронные линзы обладают всеми видами аберраций, присущих оптическим линзам. Однако относительная роль их существенно различна. Кроме того, как только что отмечалось, в электронных линзах имеются некоторые виды аберраций, отсутствующие в оптических линзах.

Хроматическая аберрация. В световой оптике хроматическая аберрация, как известно, обусловлена разницей в преломлении лучей с различной длиной волны (например, синие лучи преломляются сильнее, чем красные). В электронной оптике хроматическая аберрация обусловлена различием начальных скоростей электронов. Электроны, вылетев из катода с меньшими скоростями, преломляются электронной линзой сильнее и фокусируются ближе, чем электроны, вылетевшие с большими скоростями (рис. 16). В результате на экране или мишени вместо точечного изображения получится кружок рассеяния радиусом, равным

$$r_{хр} = A_{хр} \frac{\Delta U}{U_а} r_д, \qquad (18)$$

где $A_{хр}$ — коэффициент, зависящий от конструктивых особенностей электронной линзы;

ΔU — различие начальных скоростей электронов;

$U_а$ — ускоряющее напряжение;

$r_д$ — радиус отверстия диафрагмы, ограничивающей пучок.

Различие в начальных скоростях электронов составляет десятые доли вольта для термоэлектронов, 1—2 *в* для фотоэлектронов и несколько вольт для вторичных электронов.

Из формулы (18) следует, что с увеличением ускоряющего напряжения и уменьшением радиуса отверстия диафрагмы хромати-

ческая аберрация уменьшается. При достаточных ускоряющих напряжениях электронные лучи можно считать практически монохроматическими и хроматическую аберрацию—малосущественной (тогда как в световой оптике она относительно велика). Естественно, что в передающих трубках с использованием потоков медленных элек-

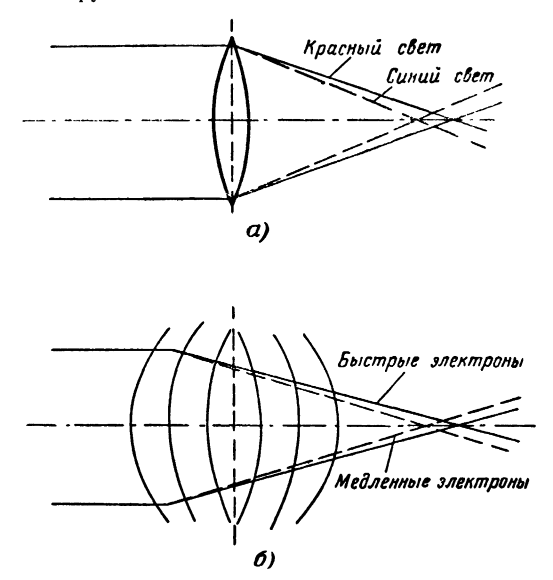


Рис. 16. Хроматическая аберрация в оптической (*а*) и электронной (*б*) линзах.

тронов хроматическая аберрация играет значительно бо́льшую роль, чем в трубках с использованием потоков быстрых электронов.

Сферическая аберрация. Преломляющее действие электронной линзы на более удаленные электроны от оси системы оказывается более сильным, чем на менее удаленные (рис. 17). Вследствие этого

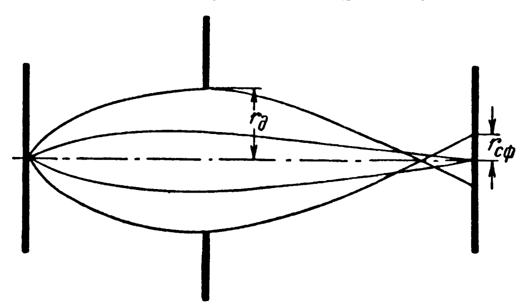


Рис. 17. Сферическая аберрация.

вместо точки в плоскости изображения получается кружок рассеяния радиусом, равным:

$$r_{сф} = A_{сф} r_{д}^{3}, \tag{19}$$

где $A_{сф}$ — коэффициент сферической аберрации, зависящий от распределения электрического и магнитного полей, а также от положения плоскости диафрагмы;

$r_{д}$ — радиус отверстия в диафрагме.

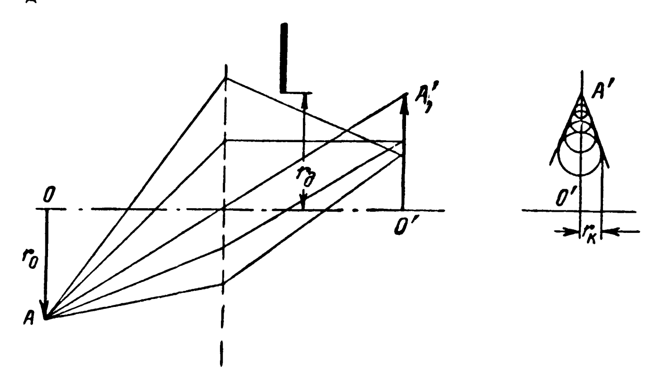


Рис. 18. Образование комы.

Кома (по-русски — запятая). Из-за асимметрии электронных лучей, выходящих из внеосевой части предмета, изображение этой точки получается в виде пятна, несколько напоминающего собой запятую (рис. 18). Величина комы определяется радиусом окружности

$$r_{к} = A_{к} r_{д}^{2} r_{0}, \tag{20}$$

где $A_{к}$ — коэффициент, который зависит от параметров электронной линзы и при надлежащем выборе полей может быть сделан равным нулю;

r_0 — расстояние от отображаемой точки предмета до оси;

$r_{д}$ — радиус отверстия в диафрагме.

Астигматизм и кривизна поля. Астигматизм электронных линз проявляется в том, что лучи, выходящие из точки M (рис. 19) и идущие в различных плоскостях, фокусируются в различных местах. Лучи, идущие в плоскости (*2-4*), собираются на поверхности S и дают на поверхности P изображение в виде черточки. Лучи, идущие в плоскости (*1-3*), собираются на поверхности P и дают изображение на поверхности S также в виде черточки. На некоторой промежуточной поверхности Q изображение точки получается в виде кружка, а на плоском экране N — в виде эллипса. Оси эллипса равны

$$r_1 = A_1 r_{д} r_{0}^{2} \text{ и } r_2 = A_2 r_{д} r_{0}^{2}, \tag{21}$$

где $r_{д}$ — радиус отверстия в диафрагме;

r_0 — расстояние от отображаемой точки предмета до оси;

A_1 и A_2 — коэффициенты, которые надлежащим выбором полей, теоретически говоря, могут быть сделаны равными нулю.

Промежуточная поверхность Q, где изображение точки превращается в кружок и изображение удаленных от оси частей предмета получается наиболее четким, не совпадает с плоскостью, где происходит фокусировка точек и частей предмета, близких к оси системы. Этот вид аберрации называется кривизной поля.

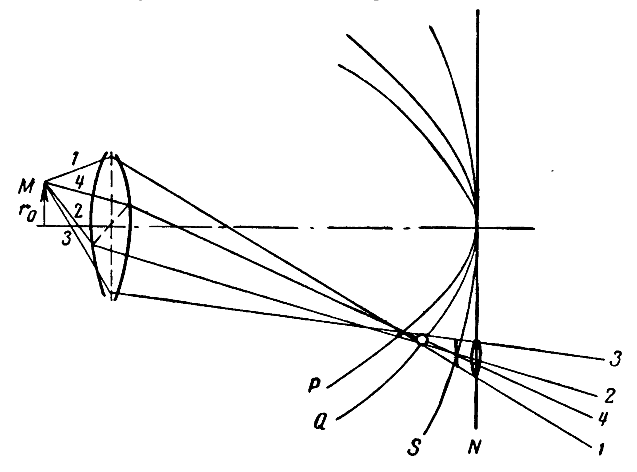


Рис. 19. Астигматизм и кривизна поля.

Практически астигматизм и кривизна поля в электронных линзах не приносят большого вреда. Поэтому какие-либо меры для их коррекции применяются редко.

Дисторсия. Дисторсией называют геометрические искажения изображений, при которых изображаемые точки смещаются относительно их правильного положения без нарушения фокусировки. Величина этого смещения равна

$$\Delta r = A_д r_0^3, \tag{22}$$

где $A_д$ — коэффициент, зависящий от параметров линзы;

r_0 — расстояние от изображаемой точки до оси системы

В зависимости от знака $A_д$ различают дисторсию типа «бочки» и типа «подушки» (рис. 20,*а* и *б*).

Кроме того, как уже отмечалось, магнитная линза поворачивает изображение, причем этот поворот оказывается бо́льшим для краевых точек, чем для центральных. Поэтому прямые, проходящие через центр поля, воспроизводятся в виде кривой, напоминающей вытянутую букву S (рис. 20,*в*). Эти искажения получили наименование S-образной дисторсии. В световой оптике аналогичных искажений не встречается.

Для борьбы с S-образными искажениями иногда применяют магнитную линзу, составленную из двух катушек, обтекаемых то-

ком в противоположных направлениях. Повороты изображения каждой катушки взаимно компенсируются, а фокусирующий эффект, как известно, пропорциональный квадрату ампер-витков (независящий от направления тока), складывается.

Другие виды аберраций. При нарушении геометрической правильности (симметрии вращения) конструктивных элементов элек-

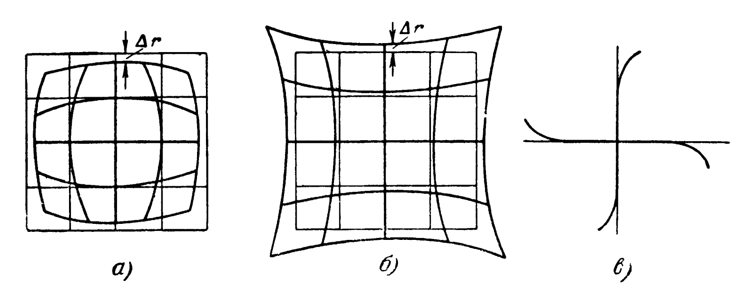


Рис. 20. Дисторсия.

а — типа „бочки"; *б* — типа „подушки"; *в* — S-образная.

тронных линз (электродов, обмоток катушек, магнитопроводов) и однородности материалов точность фокусировки снижается. Поэтому при изготовлении фокусирующих систем необходимо стремиться к максимальной их точности, чтобы не допустить перекоса поля и появления поперечной составляющей.

Иногда приходится принимать меры для защиты электронного луча от поля земного магнетизма.

В системах, требующих особенно высокой точности юстировки, вводятся специальные регулируемые корректоры (стигматоры).

8. ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОЕ ОТКЛОНЕНИЕ

Электростатическое отклонение производится обычно после прохождения электронами последнего ускоряющего анода. Этим устраняется взаимовлияние отклоняющего и фокусирующего полей.

Электронный луч, проходя через поперечное электрическое поле, создаваемое парой параллельных металлических пластин (рис. 21), отклоняется в сторону положительно заряженной пластины. Полагая, что поле между пластинами однородно и вне пластин отсутствует, т. е. пренебрегая краевыми эффектами, величину отклонения луча (h) на экране можно подсчитать по формуле

$$h = \frac{U_п l L}{2 U_а D}, \tag{23}$$

где $U_п$ — напряжение, приложенное к отклоняющим пластинам:

l — длина отклоняющих пластин;

L — расстояние от центра пластин до экрана;

$U_а$ — напряжение на аноде, определяющее скорость электронов между отклоняющими пластинами;

D — расстояние между отклоняющими пластинами.

При этом угол отклонения φ может быть найден из выражения

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{U_{п} l}{2U_{а} D}. \tag{24}$$

Величина

$$S_{э} = \frac{h}{U_{п}} = \frac{lL}{2U_{а} D} \tag{25}$$

называется **чувствительностью трубки к отклонению** или иногда просто **чувствительностью трубки**.

Чувствительность трубки зависит от ее конструкции (от величин l, L и D) и обратно пропорциональна ускоряющему напряжению $U_{а}$. Более удаленная от катода пара пластин имеет меньшую чувствительность, чем более близкая (разные величины L).

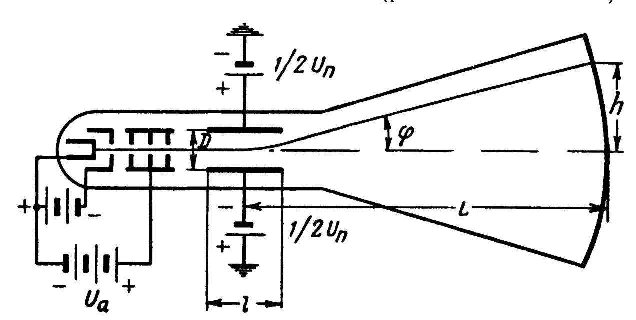


Рис. 21. Электростатическое отклонение электронного луча.

Фактические значения чувствительности трубок несколько больше, чем значения, найденные из приведенной формулы, так как краевые поля увеличивают действующую длину отклоняющего поля. Для повышения чувствительности трубок и увеличения угла отклонения иногда применяют не параллельные пластины, а пластины, изображенные на рис. 22,*б*, *в* и *г*. Наибольшую чувствительность дают пластины, изогнутые по параболе, как наиболее близко приближающиеся к траектории электронного луча в области отклоняющего поля. Затем идут пластины с изломом, потом расходящиеся и, наконец, параллельные.

Для расходящихся пластин (при тех же предположениях, что и для параллельных) величина отклонения луча (рис. 22,*д*) на экране может быть определена по формуле

$$h = \frac{U_{п} l L}{2U_{а} D_{макс}} \frac{m \ln m}{2(m-1)}, \tag{26}$$

где l — длина отклоняющего поля (а не пластин, как было в предыдущем случае);

m — отношение максимального расстояния между пластинами к минимальному, т. е. $m = \frac{D_{макс}}{D_{мин}}$.

Остальные обозначения прежние, только кажущийся центр отклонения луча, бывший в геометрическом центре электродов, в данном случае сдвигается назад на величину

$$\Delta = \frac{l}{2} \cdot \frac{m+1}{m-1} - \frac{1}{\ln m}. \qquad (27)$$

Вследствие этого сдвига несколько снижается возможное увеличение угла отклонения луча из-за расхождения пластин и увеличивается расстояние L от центра отклонения до экрана. Однако эти влияния сдвига центра отклонения практически не существенны.

Даже при наиболее выгодной форме пластин (изогнутых по параболе) достигаемые при электростатическом отклонении луча углы

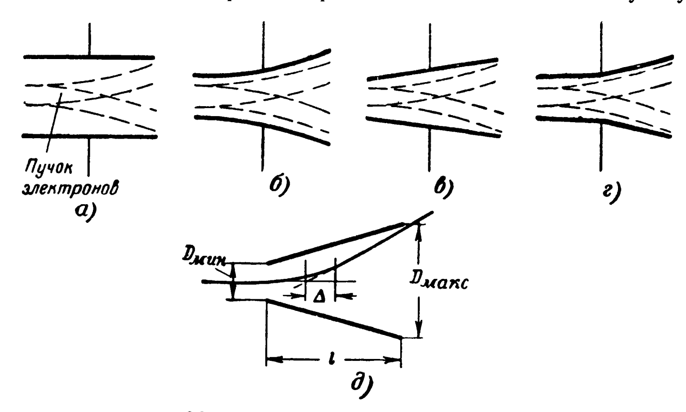


Рис. 22. Формы отклоняющих пластин.

а — параллельные; *б* — изогнутые по параболе; *в* — расходящиеся; *г* — с изломом; *д* — к определению величины отклонения луча на экране для расходящихся пластин.

обычно не превышают 15—17° (в одну сторону от центра). При больших углах отклонения получается недопустимо большая расфокусировка луча при приближении его к краям отклоняющих пластин.

Чувствительность электронно-лучевой трубки с электростатическим отклонением луча может быть увеличена путем применения так называемого послеускорения, т. е. отклонения луча при сравнительно малых скоростях электронов и последующего ускорения их с тем, чтобы они достигали экрана с необходимой скоростью.

На рис 23,*а* изображена трубка с послеускорением. Электроны проходят отклоняющие пластины со скоростью U_{a2} и затем ускоряются до скорости U_{a3}, с которой и бомбардируют экран. Для получения одинаковой величины отклонения луча на экране при одинаковой скорости бомбардирующих электронов применение

послеускорения с $\frac{U_{a3}}{U_{a2}} = p$ дает выигрыш в величине отклоняющего напряжения, равный

$$g = \frac{U_{п.п}}{U_{п.б}} = \frac{1+\sqrt{p}}{2p}. \qquad (28)$$

где $U_{п.п}$ — напряжение на отклоняющих пластинах при применении послеускорения;

$U_{п.б}$ — напряжение на отклоняющих пластинах без применения послеускорения.

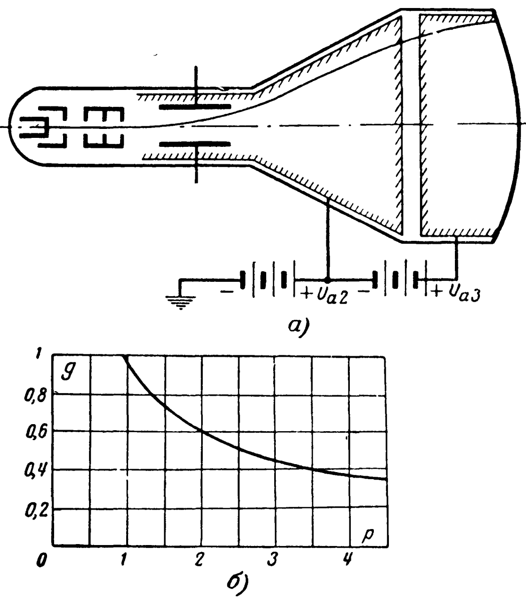


Рис. 23. Отклонение электронного луча в трубке с послеускорением (*а*) и кривая получаемой при этом выгоды в величине отклоняющего напряжения (*б*).

На рис. 23,*б* приведена зависимость этого выигрыша от соотношения напряжений на анодах трубки *p*.

9. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ОТКЛОНЕНИЕ

Электронный луч может также отклоняться магнитным полем, создаваемым катушками, обтекаемыми током. Катушки располагаются по бокам горловины трубки (рис. 24) так, чтобы ось их проходила перпендикулярно оси трубки. Отклонение луча происходит

в направлении, перпендикулярном как оси трубки, так и оси катушек.

Полагая, что отклоняющее магнитное поле однородно в области, ограниченной проекцией катушек на плоскость чертежа

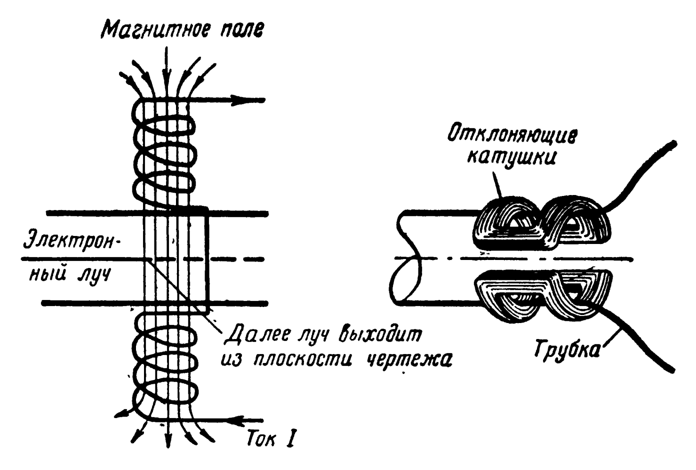


Рис. 24. Магнитное отклонение электронного луча.

(рис. 25), и отсутствует вне этой области, угол отклонения луча может быть определен из выражений

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{l}{r} = 4\pi H l \sqrt{\frac{e}{2mU_\text{a}}} \cdot 10^{-7} = 0{,}375 \frac{Hl}{\sqrt{U_\text{a}}}, \tag{29}$$

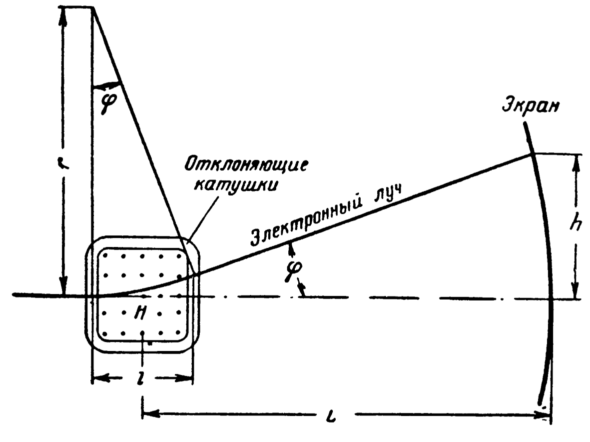


Рис. 25. К расчету магнитного отклонения электронного луча.

где H — напряженность магнитного поля;
l — средняя длина отклоняющих катушек;
r — радиус окружности, по которой электрон отклоняется в магнитном поле;
e и m — заряд и масса электрона;
$U_а$ — ускоряющее напряжение трубки.

С достаточной для практики точностью величину отклонения луча на экране можно найти по формуле

$$h = 0,375 \frac{HlL}{\sqrt{U_а}}, \qquad (30)$$

где L — расстояние от центра отклонения (приблизительно от центра отклоняющего поля) до экрана.

Количество ампер-витков Iw, необходимое для отклонения луча на величину h, может быть ориентировочно определено по формуле

$$Iw = 2,67 \frac{hd\sqrt{U_а}}{lL}, \qquad (31)$$

где d — средний диаметр отклоняющей системы.

Остальные обозначения прежние

Величина

$$S_м = \frac{h}{I} = \frac{0,375lLw}{d\sqrt{U_а}} \qquad (32)$$

может быть по аналогии с электростатическим отклонением названа чувствительностью к электромагнитному отклонению, но только эта чувствительность характеризует не одну трубку, а комбинацию трубка — отклоняющая система.

Из формулы (32) видно, что чувствительность к электромагнитному отклонению обратно пропорциональна $\sqrt{U_а}$, а не $U_а$, как это было в случае электростатического отклонения. Это соотношение при больших ускоряющих напряжениях, применяемых в телевизионных трубках, делает использование электромагнитного отклонения более целесообразным.

10. ФОКУСИРУЮЩИЕ КАТУШКИ И МАГНИТЫ

Общие вопросы работы фокусирующих катушек уже рассмотрены. Поэтому здесь разбираются некоторые практические стороны работы магнитных фокусирующих систем.

Фокусирующие катушки. Для уменьшения полей рассеяния и концентрации фокусирующего поля в рабочей области (в горловине трубки), а также для некоторой защиты области фокусировки от полей рассеяния отклоняющих катушек фокусирующие катушки обычно заключают в магнитные экраны с воздушным зазором для выхо-

да поля (рис. 26). Экраны изготавливают из мягких сортов стали. Применение экранов позволяет уменьшить число ампер-витков катушки, необходимое для фокусировки (до полутора раз) и снизить потребляемую катушкой мощность.

Наименьшее значение фокусирующего тока через катушку получается при ширине воздушного зазора, приблизительно равной внутреннему радиусу фокусирующей катушки. Однако вследствие зависимости фокусирующего тока от некоторых других факторов, например от толщины экрана, а также вследствие зависимости сферических аберраций линзы от величины зазора оптимальные размеры и форму экрана обычно уточняют эмпирическим путем. В большинстве используемых на практике экранов ширина воздушного зазора составляет 0,1—0,2 внутреннего диаметра катушки.

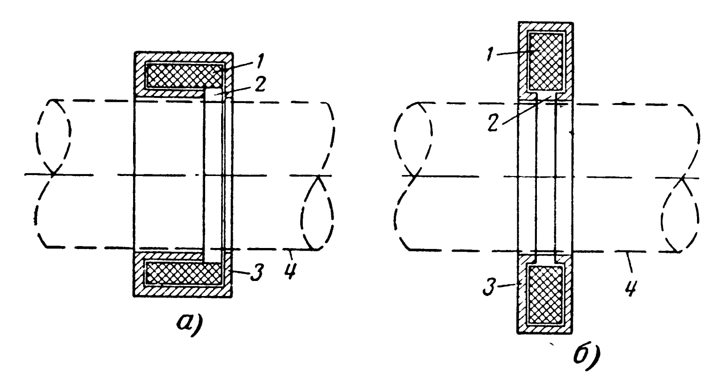


Рис. 26. Цилиндрическая (*а*) и дисковая (*б*) катушки.
1—катушка; *2*—воздушный зазор; *3*—стальной экран; *4*—горловина трубки.

При расчете фокусного расстояния катушки с экраном численный коэффициент в формуле (17) следует брать в пределах 25—40 в зависимости от параметров магнитного экрана.

Фокусное расстояние магнитной линзы фактически задано конструкцией электронно-лучевой трубки, и поэтому рассчитывают обычно не фокусное расстояние линзы, а число ампер-витков катушки, необходимое для фокусировки данной трубки. Для этого формулу (17) приводят к виду:

$$Iw = \sqrt{A \frac{U_a d}{f}}, \qquad (33)$$

где коэффициент A имеет значения 50—55 для катушек без экрана и 25—40 для катушек в экране.

Высокая острота фокусировки электронного луча трубки, как известно, может быть получена только при точном совпадении осей фокусирующего поля и электронного пучка. Практически совпадение осей нетрудно проверить, руководствуясь следующим. При хоро-

шем совпадении осей изменение направления тока в фокусирующей катушке не оказывает влияния на положение электронного пятна на экране. В случае же отсутствия совпадения осей фокусировка электронного пятна при различных направлениях тока в катушке получается в разных точках экрана. Поэтому регулировку совпадения осей можно производить, ориентируясь по совпадению сфокусированных пятен при переключении направления тока в фокусирующей катушке быстро работающим переключателем.

Можно обойтись и без переключателя, подав в фокусирующую катушку переменный ток с амплитудой, равной нормальной величи-

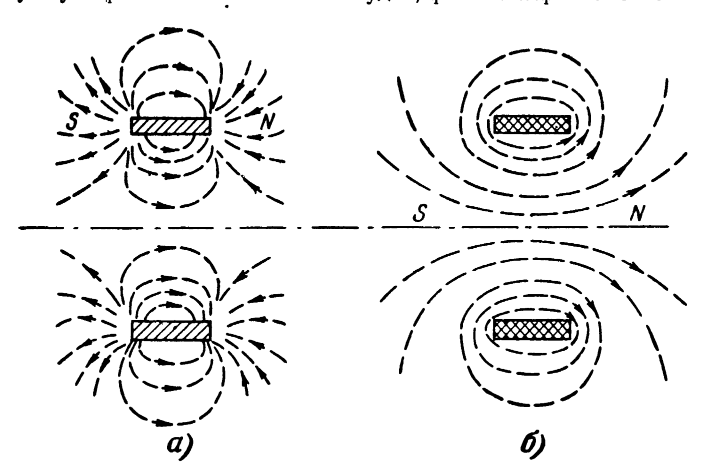


Рис. 27. Конфигурации магнитных полей постоянного магнита (*а*) и катушки (*б*).

не фокусирующего тока, и добиваясь поворотами оси катушки совпадения двух сфокусированных пятен с центром расфокусированного пятна.

По своей форме фокусирующие катушки могут быть цилиндрического (рис. 26,*а*) или дискового типа (рис. 26,*б*). Первые удобны тем, что конструкция получается более компактной, плотнее прилегающей к горловине трубки, что особенно важно в проекционных устройствах, где фокусирующие катушки не должны загораживать путь отраженному от зеркала световому потоку.

Катушки дискового типа удобны тем, что при одинаковых зазорах между катушкой и горловиной трубки они позволяют в значительно больших пределах, чем цилиндрические катушки, регулировать совпадение осей трубки и фокусирующего поля и этим снижать до минимума получающиеся при фокусировке аберрации.

Фокусирующая катушка должна быть хорошо экранирована от полей рассеяния отклоняющих катушек, так как в противном случае пучок будет отклоняться еще в области фокусирующей катушки, что приведет к смещению его относительно оси, т. е. нарушению совпадения осей, а следовательно, и к значительным аберрациям.

Фокусировка постоянными магнитами. Фокусировка при помощи постоянных магнитов весьма заманчива, так как при этом отпадает расход мощности, потребляемой фокусирующей катушкой. Однако применение их связано с некоторыми особенностями и затруднениями.

Постоянные магниты для фокусировки электронных лучей изготавливаются в виде колец из специальных сплавов с большой коэрцитивной силой или магнитной керамики — феррроксдура. Последний дешевле, имеет меньший вес и проще в производстве.

Конфигурация поля такого постоянного аксиально-симметричного магнита существенно отличается, как это видно из рис. 27, от конфигурации поля фокусирующей катушки. Основное отличие заключается в том, что напряженность магнитного поля вдоль оси кольца дважды меняет знак, тогда как у фокусирующей катушки знак напряженности поля вдоль оси сохраняется постоянным. Правда, на собственно фокусировку это не оказывает влияния, так как в выражение фокусирующего эффекта (например, в формулу фокусного расстояния магнитной линзы) напряженность поля (или ампер-витки) входит во второй степени. Фокусировка постоянным магнитом будет отличаться от фокусировки полем катушки лишь отсутствием поворота изображения относительно предмета; поле разных знаков будет вращать изображение в разные стороны, и повороты взаимно компенсируются.

Вторая особенность поля постоянного магнита — медленное убывание его вдоль оси, что может привести к нарушению работы как ионной ловушки, так и системы отклонения.

Несколько ускорить ослабление поля магнита с удалением вдоль оси можно, снабдив магнит кольцами из мягкой стали и сделав воздушный зазор, как в экране фокусирующей катушки (рис. 28). Обычно величину этого зазора делают переменной, что позволяет производить регулировку фокусировки луча.

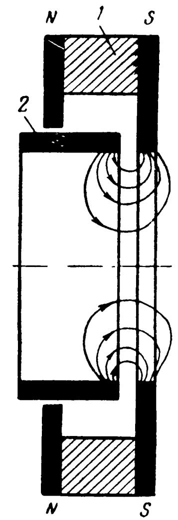


Рис. 28. Фокусирующий магнит с переменным воздушным зазором.

1 — магнит; 2 — магнитный шунт.

Заметно уменьшить поле фокусирующего магнита в областях ионной ловушки и фокусирующей системы можно путем применения двух одинаковых магнитных колец, поля которых направлены навстречу друг другу, в результате чего на некотором удалении от магнитов поле одного из них в значительной степени компенсирует поле другого. Путем изменения расстояния между кольцами можно сравнительно удобно осуществлять регулировку фокусировки луча.

Иногда систему из двух постоянных магнитов дополняют кольцом из мягкой стали и, смещая центр этого кольца относительно оси магнитов, осуществляют центровку изображения на экране. Однако этот метод центровки связан с нарушением осевой симметрии фокусирующего поля, а следовательно, и с соответствующим увеличением аберрации. Поэтому он не может быть рекомендован.

Глава вторая

ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВЫЕ ПРИЕМНЫЕ ТЕЛЕВИЗИОННЫЕ ТРУБКИ

11. ПОЛУЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОННЫХ ЛУЧЕЙ И УПРАВЛЕНИЕ ИМИ

Электронный прожектор. Образование узкого электронного луча в телевизионных трубках осуществляется при помощи электронного прожектора. Последний состоит из накаленного катода и системы аксиально-симметричных электродов. В простейших конструкциях прожекторов из таких электродов обязательны управляющий электрод и анод. В более сложные электронные прожекторы могут еще входить ускоряющие или экранирующие электроды и вторые или даже третьи аноды (рис. 29).

По выполняемым функциям электронный прожектор часто бывает возможным разделить на эмиссионную систему, излучающую

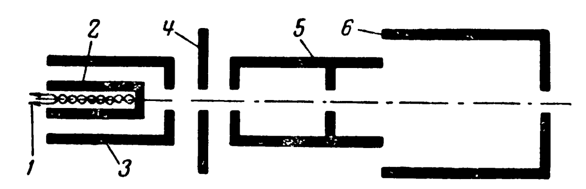


Рис. 29. Одна из конструкций электронного прожектора (пентодного).
1 — подогреватель; *2* — катод; *3* — управляющий электрод; *4* — ускоряющий электрод; *5* — первый анод; *6* — второй анод.

электроны и формирующую из них относительно узкий пучок, и фокусирующую систему, осуществляющую острую фокусировку сформированного эмиссионной системой электронного пучка на поверхности экрана или мишени трубки.

Каждая из этих систем обычно работает независимо друг от друга. Однако параметры и характеристики их должны быть согласованы друг с другом. В некоторых типах трубок фокусирующие системы не входят в состав прожектора.

Катод. Источником электронов для образования электронного луча служит термокатод. В подавляющем большинстве современных телевизионных трубок используется оксидный катод с косвенным подогревом.

Катод обычно выполняют в виде металлического (никель, вольфрам) цилиндра, на торце которого нанесен активный эмитирующий слой (оксид). Размеры рабочей поверхности катода для уменьшения плотности тока эмиссии берут довольно большими. Внутри цилиндра помещается нить подогревателя, обычно изолированная от катода. Потенциал катода в большинстве случаев принимается равным нулю. Относительно катода отсчитываются потенциалы других электродов прожектора.

Увеличение размеров экранов трубок и стремление к увеличению яркости изображений потребовали увеличения тока луча, что

привело к форсированию режимов работы катода и сокращению срока его службы Поэтому при разработке и изготовлении катодов приходится изыскивать некоторые компромиссные решения, чтобы удовлетворить противоречивым требованиям в отношении яркости экрана, четкости изображения и срока службы катода. Последний в первую очередь определяется рабочей температурой, которая обычно колеблется около 1 000° К. Работа выхода оксидного катода составляет 1,5 *эв*.

Управляющий и ускоряющий электроды. Управляющий электрод чаще всего выполняют в виде охватывающего катод металлического цилиндра, перегороженного на конце диафрагмой с отверстием в середине. Как показывает название, этот электрод служит для управления потоком электронов, излучаемых катодом, и, кроме того, он играет важную роль в общем формировании электронного луча. Потенциал управляющего электрода всегда поддерживается отрицательным относительно катода (обычно несколько десятков вольт).

Ускоряющий или экранирующий электрод выполняют большей частью в виде металлического диска с отверстием на пути движения электронов или в виде металлического цилиндра с одной или несколькими диафрагмами. Ускоряющий электрод относительно катода находится под сравнительно небольшим положительным потенциалом (несколько сотен вольт).

Рис. 30. Расположение электродов, характер поля и траектория электронов в эмиссионной системе телевизионной трубки.

1 — управляющий электрод; *2* — анод.

Аноды. Аноды выполняют в виде металлических диафрагм, цилиндров или усеченных конусов (иногда с диафрагмами) или, наконец, в виде проводящего покрытия (металлического или графитового) на стенках колбы трубки. Потенциалы анодов довольно значительны. Они определяют конечную скорость, с которой электроны бомбардируют экран и составляют тысячи и даже десятки тысяч вольт.

Работа эмиссионной системы. Плоский катод, излучающий электроны, управляющий электрод и первый анод образуют своеобразную электронную линзу, часто называемую *иммерсионной линзой* или *иммерсионным объективом*. Расположение электродов в этой линзе и характер электрического поля в ней изображены на рис. 30.

Как видно из рисунка, вблизи плоского катода эквипотенциальные поверхности также плоские и расположены параллельно его поверхности. Поэтому электроны, вылетевшие из некоторой точки катода, например *A* (рис. 30), с различными по величине и направлению скоростями под влиянием электрического поля, направленно-

го вблизи плоского катода перпендикулярно ему, будут ускоряться и спрямляться, превращаясь в пучок почти параллельных электронов. Затем этот пучок, проходя через искривленные эквипотенциальные поверхности, будет отклоняться в сторону оси и пересечется с ней на некотором участке вблизи точки F. То же произойдет с электронами, вылетевшими из других точек катода, например из точки B.

В итоге электроны, вылетевшие с относительно большой площади катода, пройдя несколько миллиметров, пересекуются в некоторой области, называемой скрещением или кроссовером. В области скрещения не получается изображения катода. Изображение точек A и B, а следовательно, и всего катода, получается значительно дальше, в точках A' и B'.

Из скрещения электроны выходят в виде расходящегося пучка, тогда как для получения хорошей фокусировки и отсутствия дефокусировки при отклонении желательно, чтобы пучок имел возможно меньшее сечение. Поэтому в передающих трубках, где требуются очень малые токи луча (доли микроампера), обычно пучок пропускают через ряд диафрагм с очень малыми отверстиями, вырезающими из общего потока электронов узкий, почти параллельный, пучок. Узкий пучок и отсутствие радиальных составляющих скорости электронов особенно важен в передающих телевизионных трубках, использующих развертки пучком «медленных» электронов.

В приемных трубках, работающих, как правило, с мощными пучками электронов (сотни микроампер), диафрагмы с узкими отверстиями применить невозможно. Поэтому в них фокусирующая система обычно образует на экране трубки изображение скрещения.

Вследствие осевой симметрии прожектора поле в прикатодной области таково, что наибольшая эмиссия электронов происходит из центральной части катода, причем с изменением напряжения на управляющем электроде изменяются и размеры площади катода, возле которого поле ускоряющее, и, следовательно, могут излучаться электроны. При небольшом отрицательном напряжении на управляющем электроде работает вся активная часть катода и ток эмиссии велик. При увеличении отрицательного напряжения излучающая площадь катода становится все меньше и меньше, соответственно чему уменьшается и ток эмиссии. Таким образом, осуществляется управление интенсивностью пучка электронов.

Одновременно с изменением действующей площади катода при изменении напряжения на управляющем электроде изменяется и расстояние от катода до скрещения. Это расстояние наибольшее, когда напряжение на управляющем электроде приближается к нулю. При увеличении отрицательного напряжения расстояние до скрещения уменьшается. Размеры эмитирующей части катода определяют величину поперечного сечения скрещения, а следовательно, и разрешающей способности трубки.

Простейшая эмиссионная система — **триодная** (рис. 30), обладает рядом недостатков, основные из которых следующие.

Трудность изменения параметров системы, так как потенциалы ее электродов задаются, исходя из других соображений (необходимая яркость экрана, разрешающая способность трубки и т. п.), и не могут быть произвольно изменены. Сильная зависимость тока луча от ускоряющего напряжения, что приводит при изменениях последнего к значительным изменениям яркости (как за счет изме-

нения скорости электронов, так и за счет изменения тока пучка). Значительная дефокусировка луча при изменении напряжения на управляющем электроде (за счет изменения размеров и положения скрещения и угла расхождения электронов по выходе из эмиссионной системы).

Более совершенна эмиссионная система с ускоряющим электродом — тетродная (рис. 31). Она в значительной степени свободна от перечисленных недостатков триодной системы.

Фокусировка электронных лучей. Фокусирующая система служит для проекции на экран изображения «предмета», который был образован эмиссионной системой. В приемных трубках таким предметом, как правило, служит скрещение — наименьшее сечение пучка

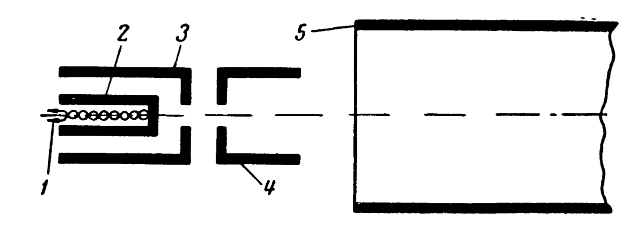


Рис. 31. Тетродная эмиссионная система.

1 — подогреватель; *2* — катод, *3* — управляющий электрод; *4* — ускоряющий электрод; *5* — анод.

электронов. В передающих трубках с разверткой пучком «медленных» электронов, а также в иконоскопах в качестве «предмета» используют сечение пучка в отверстии диафрагмы. Созданное фокусирующей системой изображение «предмета» в приемных трубках называют электронным пятном, а в передающих — апертурой.

Эффективные размеры пятна или апертуры в первом приближении должны быть равны размерам элемента телевизионного разложения. Так как апертура представляет собой круглое пятно с убывающей от центра к краям плотностью тока, то эффективный диаметр этого пятна должен быть приблизительно равен частному от деления высоты растра на число реальных строк разложения.

Для фокусировки электронных лучей применяют как электростатические, так и магнитные линзы. Из электростатических линз наиболее частое применение находят ускоряющие бипотенциальные линзы (§ 4), состоящие из двух расположенных друг за другом коаксиальных цилиндров. В качестве магнитных линз применяют короткие фокусирующие катушки или постоянные магниты.

Путем изменения потенциалов электродов, образующих линзу, или путем изменения тока в фокусирующей катушке, или, наконец, введением магнитного шунта к постоянному магниту осуществляется изменение фокусного расстояния линзы и достигается острая фокусировка электронного луча на экране трубки.

Высокое качество фокусировки, как известно, может быть получено только при точном совпадении осей фокусирующего поля и

электронного пучка. При неточном совпадении осей скрещение оказывается как бы смещенным относительно оптической оси фокусирующей линзы, и его изображение будет сопровождаться аберрациями типа астигматизма и комы; пятно на экране будет иметь большие размеры и неправильную форму.

Степень совпадения осей в трубках с электростатической фокусировкой определяется точностью изготовления электронного прожектора. В трубках с электромагнитной фокусировкой совпадение осей определяется точностью изготовления фокусирующей катушки и правильностью расположения ее на горловине трубки.

Острота, а также равномерность фокусировки по растру в значительной степени зависят еще от местоположения фокусирующей катушки на горловине трубки На рис. 32 показаны продольные сече-

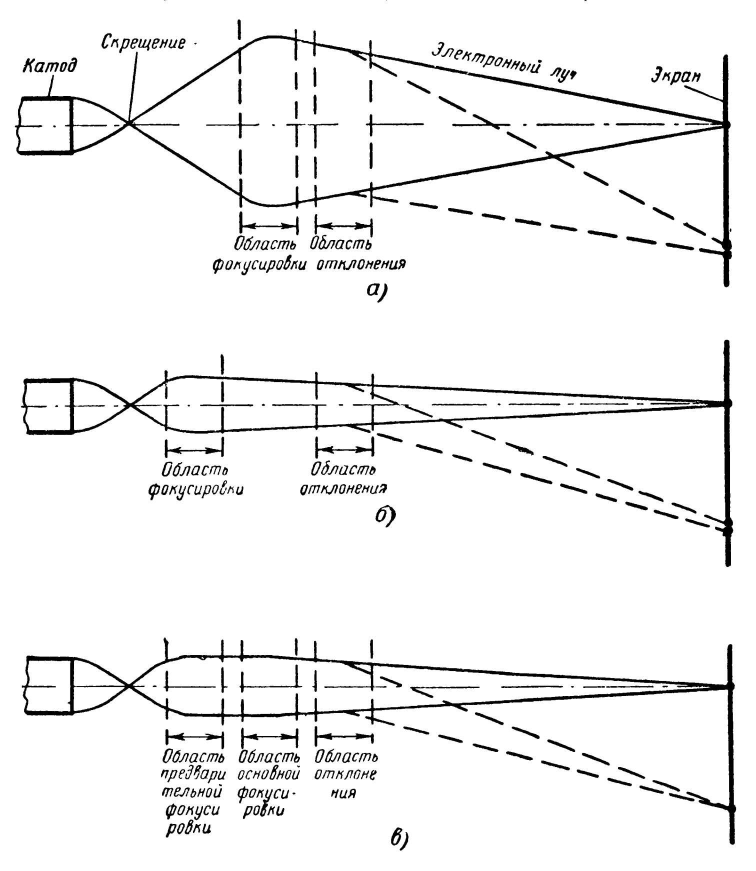


Рис. 32. Фокусировка электронного луча

а — линза далеко от катода; *б* — линза близко к катоду; *в* — с применением предварительной фокусировки.

ния электронных пучков при фокусирующей катушке, расположенной далеко от катода и близко к катоду.

В первом случае линза дает меньшее увеличение, что приводит к уменьшению размеров пятна изображения скрещения. Но из-за того, что сечение пучка в области отклонения в этом случае относительно велико, всевозможные аберрации при отклонении также велики, и размеры пятна на краях растра значительно возрастают.

Во втором случае наблюдается обратная картина. Размеры пятна в центре вследствие большого увеличения линзы получаются относительно большими, а аберрации из-за узости пучка в области отклонения получаются малыми; размеры пятна на краях растра также получаются относительно малыми. Положение фокусирующей катушки, дающее наиболее равномерную фокусировку по площади растра, находят эмпирическим путем.

Конструктивно бывает более удобным не передвигать фокусирующую катушку в целом, а лишь изменять положение воздушного зазора в магнитном экране катушки. Этим объясняется нередко встречающаяся несимметричность расположения воздушного зазора в экранах фокусирующих катушек.

Иногда пытаются использовать преимущества как того, так и другого положения фокусирующей линзы и поэтому применяют одну линзу вблизи эмиссионной системы, а другую — вблизи отклоняющих катушек (рис. 32,*в*). Действие первой линзы, превращающей расходящийся электронный луч в параллельный, называют предварительной фокусировкой, которая приводит как к уменьшению пятна на краях растра (вследствие сужения луча и уменьшения аберраций в отклоняющих катушках), так и к уменьшению его в центре (вследствие сужения луча и уменьшения аберраций в обеих фокусирующих катушках). Предварительную фокусировку осуществляют чаще с помощью электростатической линзы. Получающийся в таком случае прожектор по числу электродов называют п е н т о д н ы м (рис. 29). Известны случаи применения предварительной фокусировки с магнитными линзами (двух фокусирующих катушек).

Как магнитные, так и электростатические линзы имеют свои достоинства и недостатки. При магнитной фокусировке конструкция прожектора оказывается проще, требуется меньшая точность его изготовления, трубки получаются дешевле. Но в целом трубка с магнитной фокусирующей системой дороже, тяжелей и больше. Мощность, потребляемая на электромагнитную фокусировку луча, значительно больше, чем мощность, потребляемая на электростатическую фокусировку. Отрегулированное напряжение питания электростатической фокусирующей системы длительное время остается постоянным, и фокусировка не нарушается. Ток через фокусирующую катушку, установленный при включении аппаратуры, вызывает нагрев катушки, вследствие чего сопротивление ее постепенно увеличивается, а ток и фокусирующее поле уменьшаются. Это обстоятельство требует периодических регулировок тока через фокусирующую катушку.

В ходе развития электронно-лучевых трубок предпочтение отдавалось то одному, то другому методу фокусировки. В новейших типах приемных трубок прямого видения (с прямоугольным экраном) применяют электростатическую фокусировку. Так как при больших токах луча путем электростатической фокусировки трудно достичь достаточно малых аберраций (в первую очередь сферической), то

в трубках для проекционного телевидения применяют главным образом магнитную фокусировку.

В передающих трубках с очень малыми диаметрами электронных лучей и токами в доли микроампера сферические аберрации весьма незначительны, и поэтому здесь удобнее применить электростатическую фокусировку. В передающих трубках с разверткой «медленными» электронами применяется фокусировка длинными магнитными линзами. Применение коротких магнитных, а также электростатических линз здесь недопустимо вследствие чрезмерных хроматических аберраций.

Ионная эмиссия. Электроны луча, пролетая в трубке, вызывают ионизацию оставшихся там молекул газа, вследствие чего образуются положительные ионы, которые ускоряются полем трубки и бомбардируют катод.

Бомбардировка наиболее важной центральной части катода положительными ионами повреждает активный слой катода и сокращает срок его службы. Кроме того, предполагают, что в результате такой бомбардировки катод начинает излучать отрицательные ионы. Средством борьбы против этих явлений служит увеличение вакуума в трубке. Отрицательные ионы, кроме оксидного покрытия катода, могут образоваться и в промежутке катод — управляющий электрод вследствие «прилипания» электронов к нейтральным молекулам остатков газа или выбивания их с поверхностных загрязнений диафрагм управляющего электрода.

Отрицательные ионы, оказавшиеся в пучке электронов, фокусируются и отклоняются электрическим полем так же, как и электроны. В этом случае отрицательные ионы добавляются в электронный луч и не приносят сколько-нибудь значительного вреда.

Магнитное поле, как известно, воздействует на заряженные частицы обратно пропорционально корню квадратному из их массы, т. е. даже на самый легкий ион водорода — протон оно действует в $\sqrt{1840} \approx 43$ раза слабее, чем на электроны. Поэтому в трубках с магнитным отклонением и фокусировкой тяжелые отрицательные ионы практически не фокусируются и не отклоняются, вследствие чего бомбардируют центральную часть экрана, вызывая его разрушение. В месте ионной бомбардировки свечение растра ослабевает и на нем образуется менее ярко светящееся, так называемое ионное пятно. В трубках с магнитным отклонением, но электростатической фокусировкой ионное пятно оказывается сфокусированным и имеет гораздо меньшие размеры.

Один из возможных методов значительного ослабления ионного пятна заключается в алюминировании экрана (см. § 15). Пленка металла, «прозрачная» для быстролетящих электронов, хорошо задерживает тяжелые ионы и этим существенно предохраняет экран от образования ионного пятна. Для более радикального устранения возможности появления ионного пятна применяют электронный прожектор (специальной конструкции) с ионной ловушкой.

Ионные ловушки. Действие всех типов ионных ловушек основано на различном воздействии магнитного поля на электронный и ионный лучи, а именно: на сильном отклонении им электронного луча и на незначительном отклонении — ионного.

Путем среза или изгибания на некоторый угол (обычно 15—20°) отдельных электродов прожектора или эксцентричного расположения катода и диафрагм в управляющем и ускоряющем электродах

(рис. 33) заставляют электронный и ионный лучи, выходящие из эмиссионной системы, отклониться от оси трубки. Полем постоянного магнита (на рис. 33 направленным от читателя к плоскости чертежа) искривляют траекторию электронного луча и направляют его по оси трубки на экран. Траектория ионов при этом остается практически неизменной, и они бомбардируют, например, боковую стенку прожектора, не попадая на экран трубки.

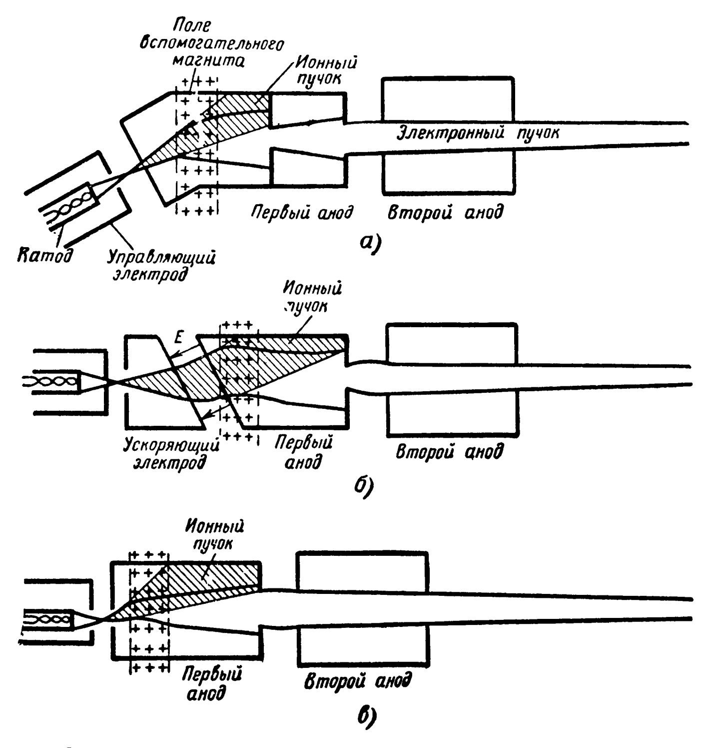


Рис. 33. Варианты устройства прожектора с ионной ловушкой.
а — с изгибом первого анода; *б* — со скошенным электродом; *в* — с эксцентричным расположением электродов.

Важнейшие требования, предъявляемые к ионным ловушкам, следующие:

а) максимальная защита трубки от ионного пятна;

б) минимальные потери электронного луча в ловушке;

в) минимальное снижение разрешающей способности трубки (ловушка нарушает осевую симметрию электронной оптики трубки и увеличивает аберрации);

г) минимальная напряженность поля корректирующего магнита и простота его установки;

д) простота и дешевизна магнита и допустимость некоторого разброса его параметров.

Существующие конструкции ионных ловушек далеко не полностью удовлетворяют всем этим требованиям и требуют дальнейшего совершенствования.

Эксплуатация трубок с ионными ловушками несколько усложняется. От величины поля магнитов и от их расположения относительно оптики трубки сильно зависит степень прохождения электронного потока к экрану. Неправильная установка магнита или неподходящая напряженность создаваемого им поля приводит к значительным потерям электронного потока и вызывает необходимость форсирования работы катода, перегрузку анодной цепи и искажения на экране, а в конечном итоге и преждевременный выход трубки из строя. Поэтому на правильное положение магнита на горловине трубки необходимо обращать самое серьезное внимание.

Это правильное положение магнита находят путем перемещения его в пределах оптики трубки, добиваясь наибольшей яркости экрана при минимальном токе пучка и при отсутствии срезания растра. Магнит при этом должен находиться вблизи изгиба анода кинескопа. Если же для выведения луча на ось трубки приходится сдвигать магнит к управляющему электроду или даже за него, то это указывает, что магнит чересчур сильный и значит непригоден для данной трубки. Окончательную установку магнита следует производить, наблюдая на экране трубки изображение испытательной таблицы и добиваясь наибольшей и по возможности равномерной четкости в центре и на краях таблицы.

12. РАВНОВЕСНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ РАЗВЕРТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Потенциал бомбардируемой поверхности. Существенную роль в работе электронно-лучевых трубок играет потенциал, который приобретает поверхность, бомбардируемая электронами развертывающего луча. Только в некоторых типах трубок (видикон, приемные трубки с алюминированным экраном) потенциал развертываемой поверхности определяется подводимым к сигнальной пластине или алюминиевой пленке напряжением. В подавляющем большинстве остальных телевизионных трубок развертываемая поверхность является изолятором и ее потенциал не может быть установлен использованием явления обычной проводимости; он устанавливается путем использования эффекта вторичной электронной эмиссии.

Вторичная эмиссия. Вторичной электронной эмиссией, как известно, называется эффект выбивания быстролетящими электронами из какой-либо поверхности вторичных электронов.

Вторичная эмиссия характеризуется *коэффициентом вторичной эмиссии* σ, показывающим, сколько вторичных электронов приходится в среднем на один первичный бомбардирующий электрон. Коэффициент вторичной эмиссии зависит от скорости бомбардирующих электронов и от свойств бомбардируемой поверхности. Характер зависимости коэффициента вторичной эмиссии от скорости бомбардирующих электронов (от величины ускоряющего напряжения) показан на рис. 34. Как видно из приведенной кривой, коэффициент вторичной эмиссии превышает единицу в пределах от некоторого напряжения U_1 до напряжения U_2.

Кажущаяся вторичная эмиссия. На рис. 35 приведена схема протекания электронных токов в приемной телевизионной трубке. Флуоресцирующий состав, нанесенный на экран, является изолятором. Он бомбардируется развертывающим электронным лучом. В передающих трубках аналогичную бомбардируемую поверхность

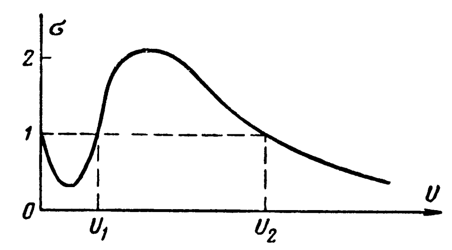


Рис. 34. Зависимость коэффициента вторичной эмиссии от скорости бомбардирующих электронов.

представляет собой мишень. Электронный луч, бомбардирующий изолированную поверхность, образует первичный ток i_1. Вылетающие из поверхности в результате бомбардировки вторичные электроны частично собираются положительно заряженным вторым анодом или специальным собирающим электродом — коллектором, образуя ток i_2, частично возвращаются на бомбардируемую поверхность.

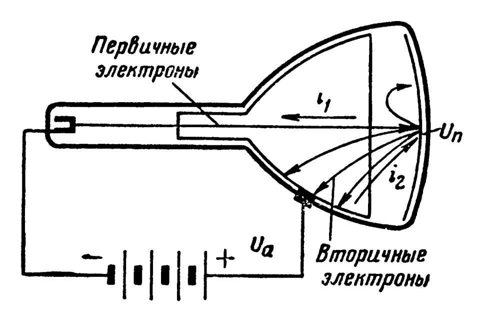


Рис. 35. Схема протекания электронных токов в приемной трубке.

Отношение токов $\frac{i_2}{i_1} = \sigma'$ называется **коэффициентом кажущейся вторичной эмиссии.**

Величина этого коэффициента зависит от потенциала бомбардируемой поверхности $U_п$, определяющего количество выбитых вторичных электронов на один первичный электрон, и от потенциала анода (коллектора) $U_а$, определяющего распределение вторичных электронов между анодом (коллектором) и бомбардируемой поверхностью.

При $U_п < U_а$ все вторичные электроны будут притягиваться анодом (коллектором); оседать на облучаемой поверхности они не будут, и отношение тока анода (коллектора) к току луча будет равно коэффициенту вторичной эмиссии, т. е. $\sigma' = \sigma$.

При $U_п > U_а$ тормозящее поле анода (коллектора) будет отталкивать вторичные электроны, и они будут оседать на бомбардируемой поверхности. Ток анода (коллектора), а следовательно, и коэффициент кажущейся вторичной эмиссии будут равны нулю.

Равновесные потенциалы. Когда $\sigma' < 1$, т. е. когда на бомбардируемую поверхность поступает больше электронов, чем уходит с нее, то поверхность накапливает электроны и потенциал ее падает (становится более отрицательным) до тех пор, пока не придет в такую точку, где $\sigma' = 1$. В этом случае количества поступающих и уходящих с поверхности электронов равны и, следовательно, заряд на поверхности и ее потенциал не изменяются.

Когда $\sigma' > 1$, потенциал бомбардируемой поверхности возрастает, пока также не придет в точку, где $\sigma' = 1$, и перестанет изменяться, или, как говорят, на поверхности установится равновесный потенциал.

На рис. 36 изображены три основных случая установления на бомбардируемой электронами поверхности равновесного потенциала, при котором $\sigma' = 1$.

Первый случай (*а*) имеет место при $U_а < U_1$. Потенциал бомбардируемой поверхности в этом случае становится равным нулю, т. е. $U_{п1} = 0$.

Во втором случае (*б*) при $U_1 < U_а < U_2$ бомбардируемая поверхность приобретает потенциал $U_{п2} = U_а$.

Наконец, в третьем случае (*в*) при $U_а > U_2$ потенциал бомбардируемой поверхности оказывается равным $U_{п3} = U_2$.

Теоретически возможен еще один случай равновесного потенциала $U_п = U_1$. Однако это состояние неустойчиво. Малейшее отклонение потенциала поверхности от значения U_1 будет приводить к дальнейшему его изменению в ту же сторону.

При более строгом подходе к рассматриваемым явлениям следовало бы учитывать начальную скорость электронов, эмитируемых катодом, а также начальную скорость вторичных электронов. В таком случае первый равновесный потенциал $U_{п1}$ установится на несколько вольт ниже нуля (точней, на несколько вольт ниже потенциала катода), а второй равновесный потенциал — на несколько вольт выше потенциала анода (коллектора).

Первый случай равновесного потенциала, так называемый режим «медленных» электронов, используется в ряде типов передающих трубок (ортиконы, суперортиконы, разновидности видиконов). Второй случай используется в некоторых типах передающих трубок (иконоскопы, супериконоскопы), а также в неалюминированных приемных трубках. Использование третьего случая установления равновесного потенциала нецелесообразно, так как, несмотря на подведение к аноду сколь угодно большого напряжения, фактическая скорость бомбардировки изолированного экрана не будет превышать предельного потенциала U_2, характерного для каждого материала бомбардируемой поверхности, при котором коэффициент вторичной эмиссии $\sigma = 1$. Отрицательный заряд электронов, накопившихся на экране, будет создавать между экраном и вторым анодом ускоряющее поле для вылетевших из экрана

вторичных электронов. Это обстоятельство не позволяет получать от экрана желательную яркость изображения. Поэтому люминофоры приемных трубок должны обладать достаточной вторичной эмиссией и иметь возможно больший предельный потенциал U_2.

В табл. 1 приведены предельные потенциалы некоторых люминофоров.

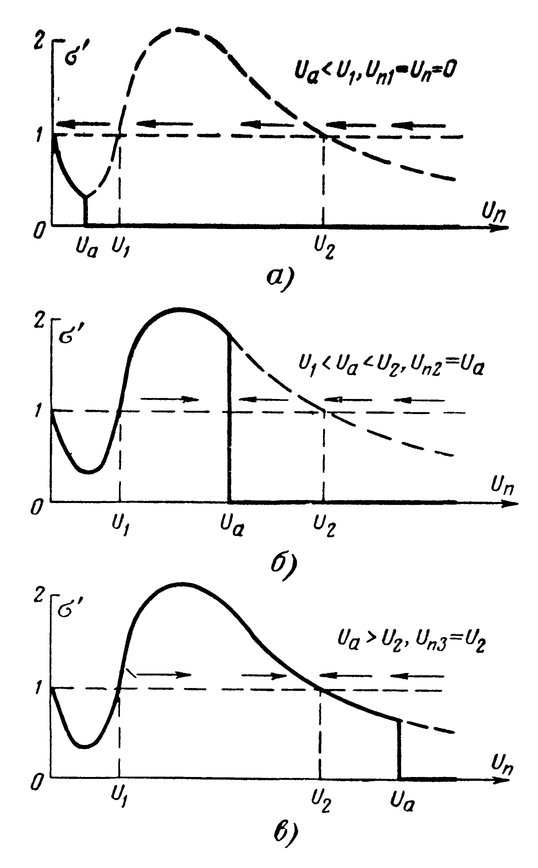


Рис. 36. Кривые кажущегося коэффициента вторичной эмиссии в зависимости от потенциала бомбардируемой поверхности и потенциала анода.

В прошлом, когда данный люминофор не удовлетворял поставленным требованиям, делались попытки покрывать внутреннюю поверхность экрана незначительным количеством веществ (щелочных, щелочно-земельных и других соединений), повышающих коэффициент вторичной эмиссии данной поверхности. Однако этот метод полностью удовлетворяющих результатов не давал.

Таблица 1

Люминофор	Предельный потенциал, *кв*
Виллемит и другие силикаты	6,5—10
Сульфид цинка	8—12
Сульфид—селенид цинка	16—25
Цинк—кадмий сульфид—селенид	до 35
Цинк—кадмий сульфид	7—12
Вольфрамат кальция	4,5—5
Стекло нонекс	<5

Более радикальный метод получения экранов, бомбардируемых электронами с высокими скоростями, состоит в металлизации экрана (см. § 15).

Начальный потенциал поверхности. Из теоретического анализа следует, что если начальный потенциал бомбардируемой поверхности $U_п < U_1$ (а это бывает при включении трубки после большого перерыва) и, следовательно, если $\sigma' < 1$, то при любом потенциале анода (коллектора) должен установиться равновесный потенциал $U_п = 0$, при котором интенсивная бомбардировка экрана, необходимая для получения яркого изображения, оказывается невозможной. Однако при высоких потенциалах анода этого практически не происходит. Полагают, что вследствие оседания положительных ионов, образующихся в трубке, а также поверхностного растекания зарядов от анода (коллектора) по стенкам баллона и экрану последний постепенно приобретает потенциал больше U_1, после чего автоматически устанавливается равновесный потенциал экрана, равный $U_а$ или U_2.

13. КАТОДОЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Виды люминесценции. Люминесценцией называется преобразование какого-либо вида энергии (лучистой, биологической, химической, энергии быстролетящих электронов) в энергию световую.

Люминесценция обычно подразделяется на флуоресценцию, когда свечение происходит только в момент возбуждающего воздействия, и после прекращения возбуждения весьма быстро исчезает (примерно через 10^{-8} *сек* или даже быстрее), и фосфоресценцию, когда свечение продолжается сравнительно долго после прекращения возбуждения.

Свечение различных веществ, вызываемое ударами быстролетящих электронов, называется катодолюминесценцией, которая широко используется в приемных телевизионных трубках. Подавляющее большинство используемых в них люминофоров после прекращения возбуждения продолжают еще некоторое время светиться, т. е. имеется и флуоресценция и фосфоресценция. Свечение экрана, продолжающееся после прекращения электронной бомбардировки, называется послесвечением.

Люминофоры и их особенности. Вещества, способные к люминесценции, носят название люминофоров, а воздействие опре-

деленного вида энергии на данный люминофор для его свечения называется **возбуждением**. Способностью люминесцировать под воздействием электронной бомбардировки обладают почти все неорганические соединения, а также многие неметаллические элементы, органические соединения и стекло. Однако значительной эффективностью преобразования энергии падающих электронов в световую энергию обладают лишь некоторые вещества, которые и используются в качестве люминофоров. К таким веществам относятся силикаты, сульфиды, оксиды и фосфаты металлов цинка, кадмия, кальция, магния и бериллия.

Подавляющее большинство люминофоров обладает значительной люминесценцией благодаря присутствию в них специальных примесей — **активаторов**. Содержание активатора в люминофоре обычно составляет доли процента. Встречаются вещества, обладающие значительной катодолюминесценцией в чистом виде (с доступной для современной техники степенью очистки). Однако предполагается, что степень очистки в этом случае недостаточна и присутствующие в ничтожных количествах примеси выполняют функции активаторов. Имеются также основания предполагать, что функции активаторов в рассматриваемом случае выполняют атомы одного из металлических элементов **люминофора**, располагающиеся в промежутках между молекулами люминофора.

Некоторые элементы, присутствуя в люминофоре иногда в самых ничтожных количествах, оказывает обратное влияние — резко снижают эффективность свечения. Такие вещества носят наименование «отравителей». К ним относятся железо, кобальт и др.

Кроме примесей (активаторов и «отравителей») значительное влияние как на эффективность свечения, так и на спектральный состав излучения оказывает технология изготовления люминофора и нанесения его на экран.

При температурах выше 300° С яркость свечения большинства люминофоров возрастает, а длительность послесвечения падает. При понижении температуры, наоборот, свечение ослабевает, а длительность послесвечения возрастает. Однако встречаются люминофоры со значительными отступлениями от указанных закономерностей.

Активаторы. К наиболее употребительным активаторам относятся многовалентные металлы: медь, серебро, марганец, титан, хром, церий и висмут. В то время как металлы люминофора обычно дают бесцветные химические соединения, металлы-активаторы большей частью дают окрашенные соединения.

Активаторы не только значительно повышают эффективность люминофора, но также определяют цвет его свечения и длительность послесвечения. Так, например, сульфид цинка в чистом виде дает бледно-голубое свечение, активированный серебром — синее свечение, медью — голубовато-зеленое и марганцем — оранжевое. Для получения нужного спектрального состава излучения в люминофор могут быть добавлены два или даже более различных активатора.

Большое влияние на люминесценцию и ее цвет оказывает также количество активатора. Увеличивая количество активатора — серебра в сульфиде цинка, можно изменять цвет его свечения от указанного выше синего до красного. Чрезмерно большое количество активатора может подействовать как «отравитель».

Для получения люминофоров желательного качества приходится при их изготовлении подвергать вещество люминофора тщатель-

ной очистке, а затем уже добавлять соответствующий активатор в нужном количестве.

Сущность явления катодолюминесценции. Строгая теория люминесценции весьма сложна, и рассмотрение ее выходит за рамки данной брошюры. Ниже делается попытка изложить весьма упрощенно сущность процесса люминесценции.

Как известно, атомы всех веществ состоят из положительно заряженного ядра и вращающихся вокруг него электронов. Если положительный заряд ядра равен по абсолютной величине суммарному заряду всех электронов, то такой атом называется нейтральным.

Порядковый номер элемента в периодической таблице Менделеева указывает число положительно заряженных протонов в ядре и число вращающихся вокруг ядра электронов. Электроны, вращаясь вокруг ядра, могут располагаться только на определенных, так называемых «дозволенных» оболочках (рис. 37). Эти оболочки располагаются концентрически вокруг ядра, причем расстояния между ними по мере удаления от него уменьшаются. Каждый электрон, находящийся в атоме, обладает вполне определенным для каждой данной оболочки значением энергии и не может иметь промежуточных значений.

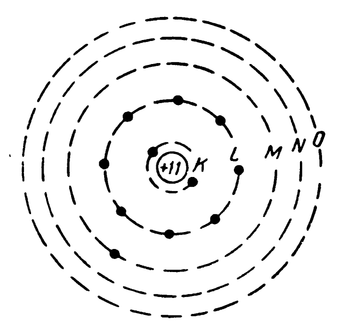


Рис. 37. Схема расположения электронов на оболочках атома натрия.

Ближайшую к ядру оболочку принято обозначать буквой *K*, следующую — *L*, затем *M*, *N*, *O* и т. д.

Каждая оболочка в нормальном состоянии может содержать количество электронов, не превышающее определенного для каждой оболочки числа. Оболочки, ближайшие к ядру, заполняются электронами в первую очередь. Для размещения всех электронов в наиболее сложном из известных элементов требуется семь оболочек.

Для примера на рис. 37 приведена схема расположения зарядов атома натрия, имеющего порядковый номер 11 в таблице Менделеева. Ядро натрия содержит 11 положительно заряженных протонов, а вокруг ядра вращаются 11 электронов, причем 2 из них находятся на оболочке *K*, 8 — на оболочке *L* и 1 — на оболочке *M*. Все следующие оболочки в нормальном состоянии атома не заняты.

Когда оболочка имеет предельное для себя число электронов (*K* — 2, *L* — 8 и т. д.), про нее говорят, что она «заполнена», при этом она приобретает весьма стабильное состояние, в котором изъять из нее электроны сравнительно трудно, а добавить — практически невозможно. Незаполненная оболочка, как, например, *M*-оболочка атома натрия, сравнительно легко теряет и приобретает электроны.

При ударах быстролетящих электронов электроны незаполненных оболочек могут быть или вовсе выбиты из атома и, следовательно, произойдут его ионизация и образование вторичных электронов, или, получив недостаточное количество энергии для того,

чтобы совсем покинуть атом, электроны могут лишь «перескочить» на более удаленные оболочки. Чем большую энергию получит при ударе электрон, тем на более удаленную оболочку он перескочит. Поэтому часто более удаленные от ядра оболочки называют уровнями более высокой энергии. Однако находиться на более удаленной оболочке, в то время как расположенные ниже оболочки не заполнены, электрон долго не может, и он возвращается на свою

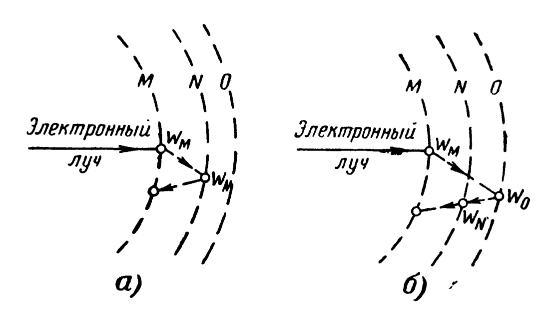


Рис. 38. Электронная бомбардировка атома натрия.

прежнюю оболочку. При этом излишек энергии электрон выделяет в виде света, т. е. в виде электромагнитных колебаний определенной частоты, зависящей от величины энергии, которую электрон отдает при возвращении на свою первоначальную орбиту. Если электрон атома натрия, находясь на M-оболочке и обладая энергией W_M, был выбит на N оболочку, где его энергия возросла до величины W_N (рис. 38,*а*), то при возвращении на исходную оболочку M он выделяет в виде электромагнитных колебаний частотой f_1 энергию, равную

$$W_N - W_M = hf_1, \tag{34}$$

где h — постоянная Планка, равная $6{,}624 \cdot 10^{-27}$ *эрг·сек.*

Из выражения (34) может быть определена частота излучаемых колебаний

$$f_1 = \frac{W_N - W_M}{h}. \tag{35}$$

Если электрон при ударе получил бо́льшую энергию и с оболочки M перескочил на оболочку O (рис. 38,*б*), где его энергия стала W_O, то в зависимости от особенностей строения данного атома электрон может вернуться на исходную M-оболочку либо последовательно, перейдя сначала на оболочку N и выделив излучение частотой $f_2 = \frac{W_O - W_N}{h}$, а затем на оболочку M, выделив излучение частотой f_1, либо сразу перейдя на оболочку M и выделив излучение частотой $f_3 = \frac{W_O - W_M}{h}$.

Для применения в качестве люминофоров наиболее пригодны вещества, излучение которых попадает в основном в видимую область электромагнитного спектра. Правда, в проекционных трубках, работающих при ускоряющих напряжениях 25—30 *кв* и более, значительная мощность падает на рентгеновское излучение.

Ионизированные атомы люминофора могут притягивать оседающие на бомбардируемую поверхность вторичные электроны. Последние попадают сначала на внешние оболочки, а затем переходят на самую нижнюю незаполненную оболочку, при этом они также выделяют в виде излучения излишки энергии, увеличивая этим светоотдачу люминофора.

Еще более сложными оказываются явления, обусловливающие катодолюминесценцию, когда атом является составной частью некоторого кристаллического вещества. В этом случае большое значение приобретают неоднородности, создаваемые в кристаллической структуре люминофора присутствием атомов активатора. Последние создают вокруг себя небольшие области пониженного потенциального барьера, называемые ц е н т р а м и. Эти центры имеют определенные электронные уровни, на которые могут попадать и задерживаться большее или меньшее время возбужденные электроны.

Такие центры, удерживающие некоторое время возбужденные электроны, часто называют «ловушками». Чтобы выскочить из такой ловушки, электроны должны получить еще некоторую дополнительную энергию, которая может быть получена, например, в результате толчка от тепловых колебаний. Выскочив из ловушки, электрон возвращается на свою исходную незаполненную оболочку, излучая при этом излишек энергии. Задержки электронов в ловушках обусловливают инерцию излучения света после возбуждения (послесвечение данного люминофора).

Требования к люминофорам. Вещества, используемые в качестве люминофоров, должны обладать рядом необходимых специфических свойств: высокой эффективностью преобразования энергии; длительным сроком службы; длительностью послесвечения, близкой к длительности одного кадра телевизионной развертки; необходимым спектральным составом излучения; низкой упругостью паров; в достаточно широких пределах линейной зависимостью яркости от тока луча; достаточно большой вторичной эмиссией и высоким предельным потенциалом люминофора (при котором $\sigma=1$).

Двухслойные экраны. Для создания экранов с достаточно длительным послесвечением либо с желательным спектральным составом излучения применяют экраны, состоящие из двух или даже нескольких слоев люминофора. Верхний люминофор, первым подвергающийся электронной бомбардировке, дает интенсивное свечение и обладает коротким послесвечением. Нижний люминофор, обладающий длительным послесвечением, возбуждается электронами с ослабленной энергией, прошедшими через верхний люминофор, и световой энергией, излучаемой верхним люминофором. Преобладающую роль в излучении этого люминофора играет свет, обусловленный главным образом вторым видом возбуждения — светом верхнего люминофора с коротким послесвечением.

Свет, даваемый экраном в целом, состоит в основном из излучения люминофора с длительным послесвечением. Свет, даваемый люминофором с коротким послесвечением, проходя по люминофору

с длительным послесвечением, поглощается и преобразовывается в свет с длительным послесвечением.

Кроме получения экранов с длительным послесвечением, нанесение последовательно нескольких слоев люминофоров, имеющих максимумы излучения в различных областях спектра, позволяет получить желательное распределение по спектру суммарной энергии излучения (например, получить белое свечение экрана). В этом случае первым на экран наносят люминофор, наиболее склонный к насыщению, а последним — люминофор, наименее склонный к насыщению.

Толщина люминофора. Материал экрана не состоит из сплошного монолитного тела. Он состоит из множества отдельных кристалликов различных размеров, имеющих между собой значительное количество пустот. В результате такого строения экрана при недостаточной толщине люминофора электроны имеют возможность проскакивать через эти пустоты и бомбардировать стекло баллона трубки, вызывая его потемнение. С другой стороны, при слишком толстом слое люминофора свет, образованный на его внутренней поверхности, проходя через толщу люминофора к его внешней стороне, будет поглощаться и ослабевать. Поэтому толщина слоя люминофора, нанесенного на экран, имеет некоторую оптимальную величину, зависящую от структуры люминофора, ускоряющего напряжения и некоторых других причин. Толщина люминофора также влияет на размеры светящегося пятна. Увеличение толщины люминофора вызывает увеличение размеров пятна. По этой причине, в частности, двухслойные экраны, как правило, дают бо́льшие размеры пятна, чем однослойные.

Выгорание люминофора. При электронной бомбардировке не вся кинетическая энергия электронов превращается в световую или расходуется на образование вторичных электронов; часть ее переходит в тепловую энергию. При плотностях электронов, имеющихся в обычных (не проекционных) трубках при нормальных условиях их эксплуатации, т. е. при развертке луча по значительной площади экрана, количество выделяющегося тепла столь незначительно, что не вызывает сколько-нибудь заметного повышения температуры люминофора.

Если же по каким-либо причинам электронный луч не развертывается или развертывается по весьма незначительной поверхности (например, по одной строке), то на этой поверхности могут возникнуть значительные местные перегревы, вызывающие необратимые изменения в люминофоре, приводящие к понижению в этих местах яркости экрана.

В современных мощных высоковольтных проекционных трубках даже при наличии развертки количество выделяющегося тепла может быть столь велико, что для сохранения трубки приходится прибегать к искусственному охлаждению экрана. Остановка же луча в этих трубках может привести не только к мгновенному расплавлению люминофора и его порче, но даже к расплавлению стекла экрана. По этой причине в проекционных трубках абсолютно недопустимы остановки электронного луча в одной точке или даже на незначительной площади. В случае необходимости такой остановки следует предварительным изменением смещения на управляющем электроде снизить яркость свечения пятна.

14. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭКРАНОВ.

Свечение экранов характеризуется яркостью, спектральным составом и инерционными свойствами люминофора. Для получения более наглядного представления об этих характеристиках их обычно изображают в виде кривых на соответствующих графиках.

Яркость свечения экрана. Выше уже было рассмотрено влияние на яркость свечения экрана состава и свойств люминофора. Однако все эти факторы имеют существенное значение лишь в ходе разработки и изготовления трубки. В законченном образце трубки яркость свечения экрана определяется ускоряющим напряжением и плотностью бомбардирующих люминофор электронов.

Предполагается, что увеличение яркости свечения экрана с ростом ускоряющего напряжения происходит вследствие более глубокого проникания электронов в толщу люминофора и вовлечения в процессы преобразования энергии все новых и новых его слоев. Исследования показывают, что глубина проникания электронов в сплошное твердое вещество пропорциональна квадрату кинетической энергии электронов, которая в свою очередь пропорциональна квадрату скорости электронов. Скорость же электронов, как известно, пропорциональна корню квадратному из ускоряющего напряжения. Поэтому, казалось бы, что яркость свечения должна быть пропорциональна квадрату ускоряющего напряжения. Однако в связи с тем, что люминофоры не являются сплошными твердыми телами, а также вследствие влияния ряда побочных факторов, наблюдаются значительные отклонения от указанной пропорциональности. Фактически яркость свечения различных люминофоров пропорциональна ускоряющему напряжению в степени от 1 до 2,8. Так, например, для силикатных люминофоров показатель степени равен примерно 1,5, сульфидных — 2 и т. д.

На рис. 39 изображена примерная зависимость яркости свечения экрана B от ускоряющего напряжения $U_а$ при постоянной плотности тока электронного луча.

С изменением плотности тока яркость изменяется почти линейно при малых плотностях тока. При плотностях тока порядка 1 *мка* на 1 *см*^{2} поверхности экрана начинается насыщение, и прирост яркости замедляется.

Управление яркостью свечения экрана осуществляется путем изменения смещения на управляющем электроде, в свою очередь изменяющем ток луча и плотность бомбардирующих электронов. Поэтому представляют интерес кривые зависимости яркости свечения экрана от напряжения на управляющем электроде (модуляторе), которые обычно и приводятся в качестве характеристик каждого данного типа трубки.

Максимальные яркости экранов в трубках прямого видения колеблются для различных люминофоров в пределах от 30 до 300 *нт*. У проекционных трубок яркость экрана колеблется в пределах от 1 000 до 5 000 *нт*, достигая в отдельных случаях 30 000 *нт* (при напряжении 80 *кв* и плотности тока 10 *мка/см*^{2}).

Спектр излучения. Интенсивность излучения всех существующих люминофоров распределяется по спектру очень неравномерно. Для наглядного представления о характере этой неравномерности зависимость интенсивности излучения люминофора от длины световой волны изображают в виде кривой, называемой спектраль-

ной характеристикой люминофора. Интенсивность излучения $W_{изл}$ обычно выражают в относительных единицах, принимая максимальное излучение за 1 (или за 100%). Длину волны λ выражают в микронах или ангстремах (1 Å$=10^{-7}$ *мм*).

Получить равномерный спектр излучения экрана во всей видимой области при всем желании не удается. Поэтому, когда необходимо получить цвет свечения экрана, близкий к белому, приходится изготовлять экран из двух-трех различных люминофоров (или акти-

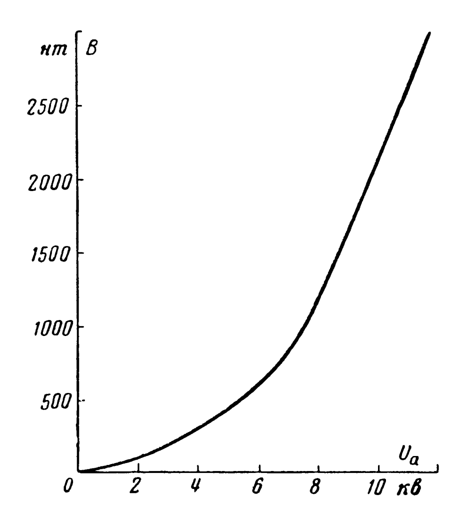


Рис. 39. Примерная зависимость средней яркости свечения экрана от ускоряющего напряжения при постоянной плотности тока.

ваторов), дающих излучение в различных местах спектра. В результате получается спектральная характеристика излучения, имеющая два-три максимума, а возникающее свечение оказывается приблизительно белого цвета. Экраны с белым свечением используются в подавляющем большинстве приемных телевизионных трубок.

Трубки, используемые для развертки изображений по методу бегущего луча или для фотографирования телевизионных изображений, не обязательно должны иметь белое свечение. Основные требования для первого типа трубок состоят в минимальной инерционности и возможно более близком совпадении спектральной кривой излучения со спектральной кривой чувствительности используемого совместно фотоэлемента или фотоэлектронного умножителя.

Основное требование к экранам для фотографирования телевизионных изображений заключается в согласовании спектральных характеристик излучения со спектральными характеристиками чувствительности используемых фотопленок.

На рис. 40 приведены спектральные характеристики излучения основных люминофоров, применяемых в отечественных электронно-лучевых трубках.

Характеристика, постоянная времени и время послесвечения. Характеристикой послесвечения люминофора называется зависимость яркости его свечения от времени после прекращения возбуждения. Обычно величину яркости B выражают в относительных единицах, принимая яркость в момент прекращения возбуждения за 100%, и откладывают ее в логарифмическом масштабе. Время t откладывают в абсолютных единицах в линейном масштабе (см. рис. 41).

Математически закон спадания яркости во времени для большинства люминофоров приближается к экспоненциальному:

$$B_t \approx B_0 e^{-\frac{t}{\tau}}, \tag{36}$$

где B_0 — яркость в момент прекращения возбуждения;
B_t — яркость спустя время t после прекращения возбуждения.

Величина τ обозначает время спадания яркости до значения, равного $\frac{1}{e} = 0{,}37$ от первоначальной величины и называется постоянной времени послесвечения. Послесвечение люминофоров, подчиняющихся экспоненциальному закону, по существу не зависит от плотности тока.

У некоторых люминофоров (например, сульфидов) закон спадания яркости больше приближается к степенно́му:

$$B_t \approx B_0 \frac{k}{t^n}, \tag{37}$$

где k и n — константы, зависящие от плотности тока.

Время, необходимое для уменьшения яркости свечения экрана после прекращения возбуждения до 1% от первоначальной яркости, имевшейся при возбуждении, называется временем послесвечения.

Время послесвечения условно делится на следующие пять групп:
1) очень короткое — менее 10^{-5} *сек*;
2) короткое — от 10^{-5} до 10^{-2} *сек*;
3) среднее — от 10^{-2} до 10^{-1} *сек*;
4) длительное — от 10^{-1} до 16 *сек*;
5) очень длительное — более 16 *сек*.

Эффективность и светоотдача экрана. Эффективность преобразования электрической энергии бомбардирующих электронов в световую энергию, излучаемую экраном, относительно низка. Для различных люминофоров при ускоряющих напряжениях 12—80 *кв* она колеблется в пределах 1—10%. Эффективность преобразования возрастает с увеличением ускоряющего напряжения и падает с увеличением плотности тока.

Светоотдача экрана, т. е. отношение излучаемой экраном силы света в свечах к затрачиваемой мощности (мощности бомбардирующего электронного луча) в ваттах зависит от типа люминофора, ускоряющего напряжения, плотности тока и некоторых других факторов.

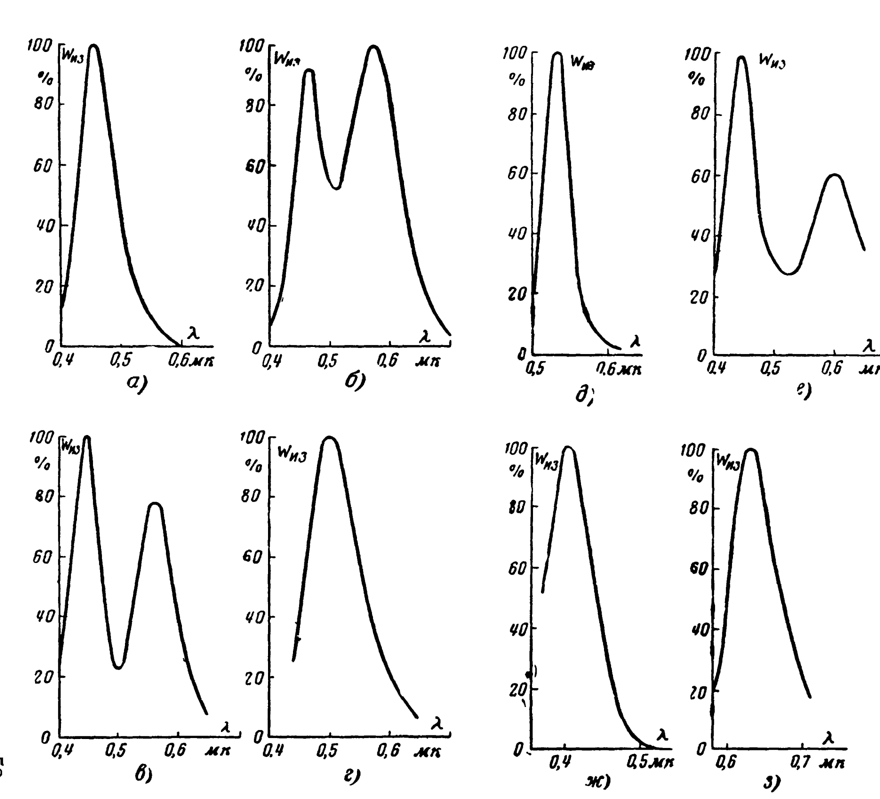


Рис. 40. Спектральные характеристики экранов.

а — типа А (синего свечения); *б* — типа Б (белого свечения); *в* — типа В (белого свечения и желтого послесвечения); *г* — типа Ж (голубовато-зеленого свечения); *д* — типа И (зеленого свечения); *е* — типа К (розового свечения и оранжевого послесвечения); *ж* — типа Л (синевато-фиолетового свечения); *з* — типа П (красного свечения).

В трубках прямого ви́дения, работающих при ускоряющих напряжениях 14—18 *кв* и плотностях тока 0,1—1 *мка/см*², светоотдача составляет для неалюминированных экранов 2—3 *св/вт* и для алюминированных 3—5 *св/вт*. В проекционных трубках, работающих при ускоряющих напряжениях 60—80 *кв*, удается получать светоотдачу до 8—10 *св/вт*.

Поскольку максимум кривой видимости глаза находится в желто-зеленой области, люминофоры, имеющие желто-зеленое свечение, обладают при прочих равных условиях наибольшей светоотдачей. К таким люминофорам относятся, например, цинково-бериллиевый силикат, активированный марганцем, или цинково-кадмиевый сульфид, активированный медью или серебром.

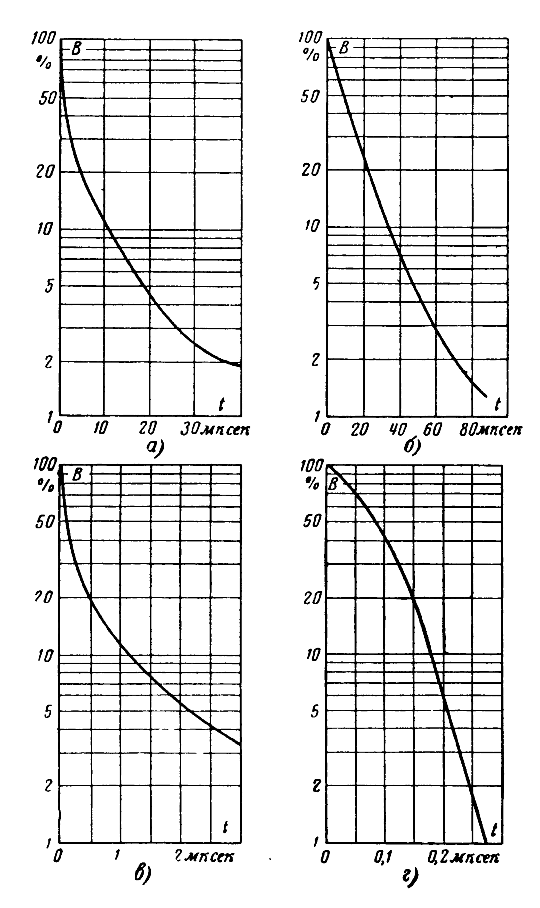


Рис. 41. Характеристики послесвечения экранов
а — типа А; *б* — типа Б; *в* — типа Ж; *г* — типа Л.

Типы и характеристики экранов. В вакуумной промышленности для обозначения типов экранов электронно-лучевых трубок используют буквы А, Б, В и т. д. Основные данные экранов приведены в табл. 2. Характеристики послесвечения изображены на рис. 41.

В приемных телевизионных трубках, предназначенных для прямого ви́дения, как правило, применяются экраны типа Б. В некоторых специальных типах трубок применяются другие экраны, например: в трубках для фотографирования изображений — экран типа А, в трубках для развертки изображений — по методу бегущего луча — экран типа Ж, в трубках для систем замедленного (малокадрового) телевидения — экран типа В.

Работа экрана. На рис. 42 показано направление световых лучей, выходящих из светящейся точки экрана. В кружке изображена сильно увеличенная часть экрана, один элемент которого возбуждается электронным лучом и излучает свет. Как видно из рисунка, примерно 50% света, созданного экраном, уходит внутрь трубки, причем эта уходящая внутрь трубки часть света не только бесполез-

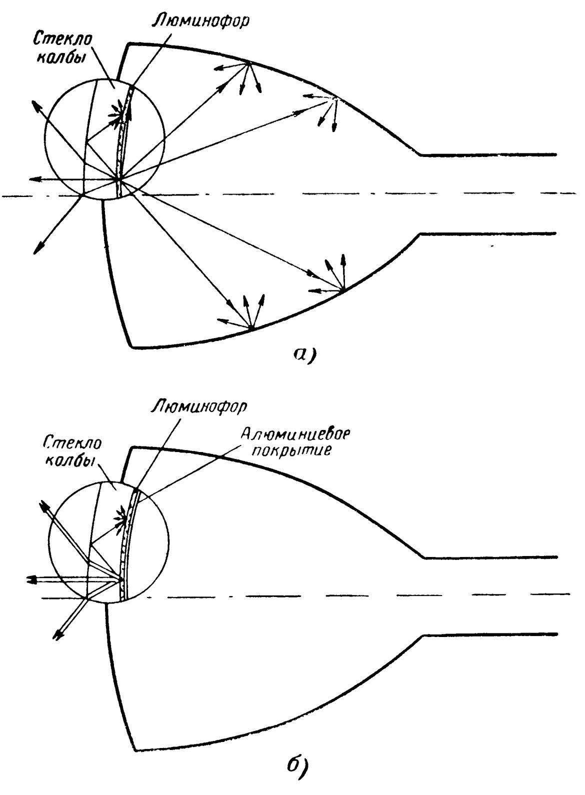


Рис. 42. Распределение света в обычной (*а*) и в алюминированной (*б*) приемной трубке.

Таблица 2

Тип экрана	Характеристика слоя	Свечение		Послесвечение		
		Цвет (цветовая температура, °К)	Максимум спектральной характеристики, *мк*	Цвет	Максимум спектральной характеристики, *мк*	Время
А	Однослойный тонкой структуры	Синий	0,45	—	—	Короткое
Б	Однослойный тонкой структуры	Белый (4 700 и 7 000)	0,46 и 0,57	—	—	Короткое
Б	Однослойный тонкой структуры	Белый (5 000 и 7 000)	0,42 и 0,58	—	—	Среднее
В	Двухслойный грубой структуры	Белый	0,44 и 0,56	Желтый	0,56	Длительное
Г	Бесструктурный (вакуумное испарение)	Фиолетовый	0,56 (поглощение)	Фиолетовый	0,56 (поглощение)	Весьма длительное
Д	Однослойный грубой структуры	Голубой	0,44 и 0,52	Зеленый	0,52	Длительное
Е	Состоит из двух видов перемежающихся полос	Оранжевый Голубой	0,595 0,44 и 0,52	Оранжевый Зеленый	0,595 0,52	Длительное Длительное

Продолжение табл. 2

Тип экрана	Характеристика слоя	Свечение		Послесвечение		
		Цвет (цветовая температура, °К)	Максимум спектральной характеристики, *мк*	Цвет	Максимум спектральной характеристики, *мк*	Время
Ж	Однослойный тонкой структуры	Голубовато-зеленый	0,50	—	—	Очень короткое
И	Однослойный тонкой структуры	Зеленый	0,53	—	—	Среднее
К	Двухслойный грубой структуры	Розовый	0,44 и 0,60	Оранжевый	0,60	Длительное
Л	Однослойный тонкой структуры	Синевато-фиолетовый	0,40	—	—	Очень короткое
М	Однослойный тонкой структуры	Голубой	0,465	—	—	Короткое
П	Однослойный тонкой структуры	Красный	0,63	—	—	Среднее
Р	Однослойный грубой структуры	Фиолетово-синий	0,43	—	—	Среднее

но теряется для зрителя, но, попадая на экран или непосредственно (вследствие кривизны экрана), или после отражения от стенок трубки, вызывает вредную засветку изображения на экране и снижает его контрастность.

От 15 до 25% света теряется в стекле трубки вследствие полного внутреннего отражения. Этот свет, возвращаясь на экран, образует вокруг светящегося пятна кольцеобразные засвечиваемые области, называемые о р е о л а м и (рис. 43).

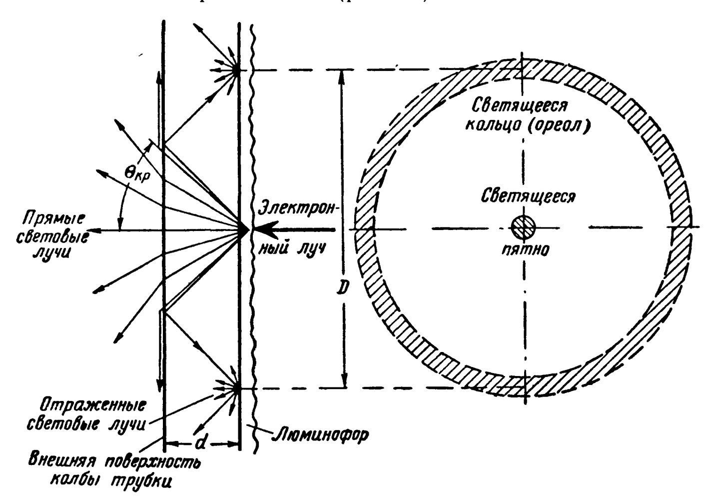


Рис. 43. Ход лучей от светящегося пятна в стекле трубки и образование ореола.

Ореолы, как и засветки других типов, также снижают контрастность изображения (главным образом мелких деталей). Таким образом, только 25—35% получающегося в экране света образуют полезный световой поток.

Перечисленные потери света и их вредные последствия могут быть значительно уменьшены, если экран трубки с внутренней стороны покрыть проницаемым для электронов, но отражающим свет тонким металлическим зеркалом. Эксперименты показывают, что светоотдача при этом возрастает почти вдвое, а контрастность крупных деталей увеличивается в 3 и более раз. Контрастность мелких деталей увеличивается несколько меньше, так как причина ее снижения заключается главным образом в ореолах и боковой засветке соседних элементов изображения.

15. МЕТАЛЛИЗАЦИЯ ЭКРАНОВ

Требования к металлическому слою. Металлический слой должен отвечать следующим требованиям:

а) быть достаточно тонким (для возможно меньшего снижения энергии бомбардирующих электронов);

б) быть непрозрачным для света и достаточно гладким (для лучшего отражения света);

в) обладать достаточной проводимостью (для свободного пропускания всего тока луча);

г) быть достаточно стойким к производственным операциям в процессе изготовления трубки, а также к интенсивной электронной бомбардировке;

д) не вступать в химические реакции с люминофором.

Алюминиевое покрытие. Оказалось, что наиболее полно удовлетворяет **перечисленным** требованиям алюминий.

Электронный луч при ускоряющем напряжении 10 *кв*, проходя через алюминиевую пленку толщиной 0,5 *мк*, теряет 85% своей энергии. При толщине пленки 0,2 *мк* потери снижаются до 43%, а при толщине 0,1 *мк* — до 23%. С увеличением ускоряющего напряжения доля потерь энергии электронного луча при прохождении через алюминиевую пленку быстро уменьшается.

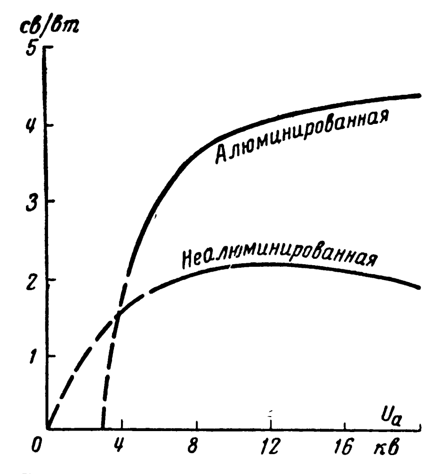


Рис. 44. Зависимость светоотдачи трубок от ускоряющего напряжения.

На рис. 44 показано изменение светоотдачи трубок с алюминиевым покрытием и без него в зависимости от ускоряющего напряжения при постоянном токе луча. Как видно из рисунка, при низких ускоряющих напряжениях светоотдача неалюминированных трубок выше, чем алюминированных, что объясняется относительно большими потерями энергии электронов в алюминиевой пленке. При более высоких напряжениях, наоборот, светоотдача трубок с алюминированными экранами значительно выше. Для люминофоров с плохими характеристиками вторичной эмиссии превосходство алюминированных трубок может быть еще более значительным, чем это показано на рисунке.

Если предположить, что алюминиевое зеркало удваивает яркость экрана (все излучение направляет вперед), то применение алюминиевой пленки толщиной 0,3 *мк* при ускоряющем напряжении 10 *кв* не вызовет уменьшения яркости по сравнению с неалюминированной трубкой.

Толщина пленок, практически применяющихся в современных трубках, колеблется в пределах 0,05—0,5 *мк*. Равенство светоотдачи таких алюминированных трубок и трубок неалюминированных обычно наступает в диапазоне 4—6 *кв*.

Органическая пленка. Кристаллы люминофора, образующие экран, обладают весьма неровной поверхностью, поэтому непосредственное алюминирование экрана не дает возможности получить

зеркальную отражающую поверхность. Кроме того, для получения достаточной проводимости металлического слоя, необходимой для поддержания экрана под потенциалом второго анода, пришлось бы испарять в 5—10 раз больше металла, вследствие чего трубка потребовала бы для работы очень высоких напряжений, чтобы пробивать такой толстый металлический слой. Поэтому при изготовлении алюминированных трубок слой люминофора предварительно покрывают тонкой пленкой органического материала, растянутого подобно покрывалу на верхушках кристаллов люминофора, а затем уже на эту пленку испаряют слой алюминия. В результате алюминиевая поверхность получается гладкой, подобно зеркалу, и в то же время, будучи сравнительно тонкой, обеспечивает хорошую проводимость.

Без алюминиевой пленки, как отмечалось выше, потенциал поверхности экрана не может быть выше предельного для данного люминофора. Кроме того, алюминиевая пленка почти непроницаема для ионов и, следовательно, значительно ослабляет образование ионного пятна.

16. НЕЙТРАЛЬНЫЕ ФИЛЬТРЫ

Назначение фильтров. Алюминирование экранов улучшает использование световой энергии, образующейся в люминофоре, и устраняет засветку изображения светом, излученным внутрь трубки. Если на трубке с обычным экраном контрастность крупных деталей обычно не превышает 30 : 1, а мелких — 10 : 1, то в трубках с алюминированным экраном контрастность крупных деталей возрастает более чем в 3 раза, достигая 100 : 1. Контрастность мелких деталей возрастает несколько меньше.

Однако и в алюминированных экранах сохраняются вредные, снижающие контрастность изображения, засветки от ореолов, от света, излучаемого экраном и отражаемого обратно защитным стеклом телевизора, и, наконец, от внешнего комнатного света. Эти засветки могут быть значительно снижены, если переднюю часть трубки изготовить из стекла с повышенной оптической плотностью, чтобы оно служило нейтральным фильтром [1]. В случае применения уже готовых трубок, нейтральный фильтр можно или нанести на экран в виде лаковой пленки или применить в телевизоре защитное стекло, которое будет служить нейтральным фильтром.

Ослабление ореолов. Предполагая в обычной трубке стекло экрана и защитное стекло телевизора идеально прозрачными (коэффициент прозрачности $\tau = 1$), можно считать, что яркость светящегося пятна на экране равна B_0, а яркость ореола $B_{ор} = kB_0\sigma$, где k — коэффициент пропорциональности, а σ — коэффициент отражения экрана, примерно равный для большинства люминофоров 0,75. Относительная яркость ореола в этом случае будет равна $\frac{B_{ор}}{B_0} = k\sigma$.

В случае применения трубки с передним стеклом, являющимся нейтральным фильтром, с коэффициентом прозрачности $\tau < 1$, кажущаяся яркость пятна будет:

$$B'_0 = B_0\tau.$$

[1] Нейтральным называется серый светофильтр, одинаково задерживающий лучи всех цветов.

Так как путь света, образующего ореол, через нейтральный фильтр примерно в 4 раза больше прямого пути (толщины фильтра), то кажущаяся яркость ореола будет равна:

$$B'_{\text{ор}} = kB_0\sigma\tau^4.$$

Относительная яркость ореола при нейтральном фильтре составит $\frac{B'_{\text{ор}}}{B'_0} = k\sigma\tau^3$, т. е. будет в τ^3 раза меньше.

При темном стекле трубки и прозрачном защитном стекле телевизора снижение контрастности изображения вследствие засветки светом, отраженным от защитного стекла и проходящим дважды через темное стекло трубки, также значительно ослабляется.

Ослабление влияния внешнего света. Большую пользу приносят нейтральные фильтры при необходимости наблюдать изображения при внешнем освещении.

Если контрастность изображений при наблюдении их в темноте на обычной трубке составляет $\beta_{\text{т}} = \frac{B_{\text{макс}}}{B_{\text{мин}}}$, то внешнее освещение создает как на темных, так и на светлых местах изображения дополнительную яркость $B_{\text{д}} = \frac{E\sigma}{\pi}$, и контрастность будет равна $\beta_{\text{с}} = \frac{B_{\text{макс}} + \frac{E\sigma}{\pi}}{B_{\text{мин}} + \frac{E\sigma}{\pi}}$, т. е. станет значительно меньше. Если применить нейтральный фильтр с пропусканием τ, выражение для контрастности примет вид: $\beta_{\text{с.ф}} = \frac{B_{\text{макс}} + \tau\frac{E\sigma}{\pi}}{B_{\text{мин}} + \tau\frac{E\sigma}{\pi}}$.

Таким образом, в результате применения светофильтров снижение контрастности из-за внешнего освещения заметно уменьшается. Одновременно ослабляются появляющиеся на поверхности экрана блики и изображения ярких источников света (ламп, окон и т. п.). Для уменьшения подобных бликов иногда переднее стекло трубки делают матовым.

Для компенсации потерь, происходящих в нейтральных фильтрах, и получения достаточной яркости изображений фильтры целесообразно применять одновременно с алюминированием экрана.

17. СИСТЕМА УСЛОВНЫХ ОБОЗНАЧЕНИЙ ТРУБОК

В соответствии с ГОСТ 5461-50 условные обозначения электронно-лучевых трубок состоят из четырех элементов.

Первый элемент — указывает величину диаметра или диагонали экрана в сантиметрах.

Второй элемент — указывает назначение трубки: ЛК — кинескопы с электромагнитным отклонением луча, ЛО — осциллографические трубки и кинескопы с электростатическим отклонением луча, ЛМ — осциллографические трубки с электромагнитным отклонением луча.

Третий элемент — указывает порядковый номер типа трубки.

Четвертый элемент (не обязательный) — обычно указывает тип используемого в трубке люминофора (А, Б, В и т. д.).

18. КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ТРУБОК

В массовом производстве колбы для трубок изготавливают из составных частей: дна колбы (экрана), конической части и горловины. Дно и коническую часть обычно изготавливают из специальных сортов стекла путем прессовки, а горловину — вытяжкой. Эти составные части сваривают друг с другом, в результате чего образуется колба трубки.

Стекло для колбы должно обладать необходимой электрической прочностью (для предотвращения пробоя и утечек высокого напряжения), а также механической прочностью (выдерживать атмосферное давление после откачки трубки).

В металло-стеклянных трубках коническая часть изготавливается не из стекла, а из специальных сортов стали, способных хорошо свариваться со стеклом. Иногда на внешнюю поверхность стеклянных колб наносят особое проводящее покрытие, образующее с внутренним покрытием надежный конденсатор фильтра высокого напряжения.

Развитие приемных телевизионных трубок характеризовалось неуклонным ростом размеров их экранов (диаметра в круглых трубках или диагонали — в прямоугольных). В то же время стремление уменьшить общие габариты телевизоров приводило к увеличению угла отклонения луча. При неизменных размерах изображения увеличение угла отклонения луча позволяет резко сократить длину трубки, а следовательно, и габариты телевизоров.

Изменение длины трубки с изменением угла отклонения луча при неизменных размерах экрана наглядно показано на рис. 45. На этом рисунке изображены геометрические очертания трубок с углами отклонения луча 40 (ныне не применяются), 70 и 110°. Кроме того, показаны центры трубок с углами отклонения луча 50 и 90°.

Первое время наша промышленность выпускала простейшие трубки с круглыми экранами, триодными прожекторами, электромагнитной фокусировкой и отклонением луча и с относительно небольшими углами отклонения — 50—55° (18ЛК15, 23ЛК1Б, 31ЛК1Б и др.). Затем были разработаны аналогичные трубки с ионными ловушками (18ЛК4Б, 18ЛК5Б, 31ЛК2Б и др.) и создана первая металло-стеклянная трубка с круглым экраном (40ЛК1Б).

Потом была разработана и стала выпускаться новая серия трубок с электростатической фокусировкой, прямоугольной формой экрана и углом отклонения луча 70°. Эти трубки имеют размеры диагоналей 35, 43 и 53 *см*. Трубки двух последних размеров выпускаются как в стеклянном, так и в металло-стеклянном оформлении. Стеклянные прямоугольные трубки имеют экраны из дымчато-

го стекла (нейтральные фильтры). Подготовляется переход на дымчатое стекло и в металло-стеклянных трубках.

Электронный прожектор в прямоугольных трубках пятиэлектродный. Кроме катода, управляющего электрода и анода он имеет еще ускоряющий (экранирующий) и фокусирующий электроды. Ускоряющий электрод увеличивает чувствительность трубки и обеспечивает более равномерную фокусировку луча по поверхности экрана. Посредством изменения напряжения на фокусирующем электроде достигается острая фокусировка луча. Система электронного прожектора прямоугольных трубок снабжена ионной ловушкой.

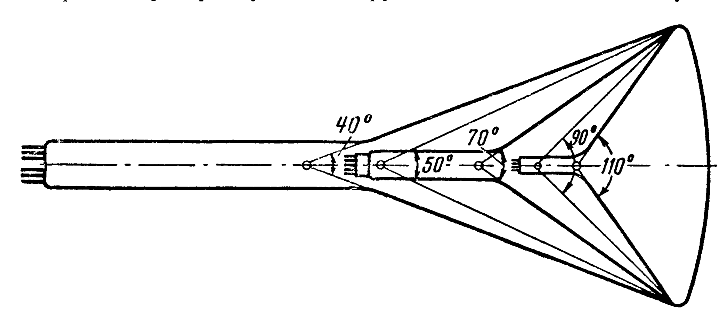


Рис. 45. Зависимость длины трубок от максимального угла отклонения луча при неизменной величине экрана.

Все типы прямоугольных трубок с углом отклонения луча 70° имеют одинаковую форму перехода горловины в коническую часть, что позволяет использовать унифицированную для всех этих типов трубок отклоняющую систему.

Наконец, в последние годы разработаны новые типы трубок с углом отклонения луча 110° (43ЛК6Б и 53ЛК5Б), в результате чего длина трубок при неизменных размерах экранов еще более сократилась. Новые трубки также имеют электростатическую фокусировку. Для повышения эффективности отклонения луча в новых трубках уменьшен диаметр горловины до 29 *мм* (при 38 *мм* в трубках с углом отклонения луча 70°). Эти трубки имеют алюминированные экраны из дымчатого стекла.

19. ПАРАМЕТРЫ И ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИЕМНЫХ ТЕЛЕВИЗИОННЫХ ТРУБОК

Параметры и данные основных типов приемных телевизионных трубок, выпускаемых отечественной промышленностью, приведены в табл. 3.

20. УКАЗАНИЯ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ТРУБОК

Одно из основных правил, обязательных к выполнению при эксплуатации приемных трубок, состоит в том, чтобы не допускать питания их электродов напряжениями, выходящими за предельно допустимые значения.

Тип	Колба	Фокусировка	Ионная ловушка
6ЛК1А	Стеклянная круглая	Магнитная	Нет
6ЛК1Б	То же	То же	То же
6ЛК1И	» »	» »	» »
6ЛК1П	» »	» »	» »
18ЛК5Б	» »	» »	С внешним магнитом
23ЛК2Б	» »	» »	Нет
31ЛК2Б	» »	» »	С внешним магнитом
35ЛК2Б	Стеклянная прямоугольная	Электростатическая	То же
40ЛК1Б	Металлостеклянная круглая	Магнитная	» »
43ЛК2Б	Металлостеклянная прямоугольная	Электростатическая	» »
43ЛК3Б	Стеклянная прямоугольная	То же	» »
43ЛК6Б[2]	Металлостеклянная прямоугольная	» »	» »
43ЛК7Б	То же	» »	» »
43ЛК8Б[3]	» »	» »	Нет
53ЛК2Б	Стеклянная прямоугольная	» »	С внешним магнитом
53ЛК5Б[2]	Металлостеклянная прямоугольная	» »	Нет

Таблица 3

Угол отклонения, *град*	Размер изображения, *мм*	Яркость, *нт* (при токе луча, *мка*)	Разрешающая способность в центре[1], линии
35	36×48	⩾1 000 ($I_л$=100)	—
35	36×48	⩾4 000 ($I_л$=150)	—
35	36×48	⩾5 000 ($I_л$=100)	—
35	36×48	⩾1 300 ($I_л$=100)	—
52	100×135	⩾32	625
35	135×180	32	>625/625
52	180×240	⩾50 ($I_л$=150)	625
70	217×288	⩾40 ($I_л$=100)	600/500
52	240×320	⩾40 ($I_л$=100)	625
70	270×360	40 ($I_л$=100)	600/500
70	270×360	⩾40 ($I_л$=100)	—
110	270×360	⩾40 ($I_л$=100)	600
70	270×360	40 ($I_л$=100)	600/500
70	270×360	⩾40 ($I_л$=100)	600
70	350×480	⩾40 ($I_л$=100)	—
110	340×455	⩾40 ($I_л$=100)	600

Тип	Габариты (рис. 46)	Цоколевка (рис. 47)	Модуляционная характеристика (рис. 48)	Типовой		
				Ток накала, *а*	Напряжение основного анода, *кв*	Напряжение вспомогательного анода, *в*
6ЛК1А	*а*	*а*	—	0,6	25	—
6ЛК1Б	*а*	*а*	—	0,6	25	—
6ЛК1И	*а*	*а*	—	0,6	25	—
6ЛК1П	*а*	*а*	—	0,6	25	—
18ЛК5Б	*б*	*в*	*а*	0,52	4	—
23ЛК2Б	*в*	*б*	*б*	0,55	10	—
31ЛК2Б	*г*	*в*	—	0,6	10	—
35ЛК2Б	*д*	*г*	—	0,6	12	От —100 до +425
40ЛК1Б	*е*	*в*	*в*	0,55	12	—
43ЛК2Б	*ж*	*г*	—	0,6	14	От —100 до +425
43ЛК3Б	*з*	*д*	—	0,6	14	От —100 до +425
43ЛК6Б[2]	*и*	*е*	—	0,6	14	От —300 до +750
43ЛК7Б	*к*	*д*	—	0,6	14	От —100 до +425
43ЛК8Б[3]	*л*	*е*	—	0,6	13	От —300 до +750
53ЛК2Б	*м*	*д*	—	0,6	16	От —100 до +425
53ЛК5Б[2]	*н*	*е*	*г*	0,6	16	От —300 до +750

[1] Разрешающая способность в виде целого числа указывает число различимых ли зывает число различимых линий в центре экрана, знаменатель—на углах.
[2] Экран имеет алюминированное покрытие.
[3] Трубка с повышенной чувствительностью к отклонению.
Стекло экрана трубок 35ЛК2Б, 43ЛК3Б, 43ЛК6Б, 43ЛК7Б, 43ЛК8Б, 53ЛК5Б дым Послесвечение экрана трубок 43ЛК3Б, 43ЛК6Б, 43ЛК7Б, 43ЛК8Б, 53ЛК2Б, 53ЛК5Б дельно допустимое напряжение 5,7—6,9 *в*.) Цвет свечения экранов трубок 6ЛК1А—6ЛК1А, 6ЛК1Б, 6ЛКИ, 6Л1К1П—для проекционных телевизоров; остальные трубки—

режим		Предельно допустимые режимы			
Напряжение ускоряющего электрода, *в*	Напряжение запирания трубки, *в*	Напряжение основного анода, *кв*	Напряжение вспомогательного анода, *в*	Напряжение ускоряющего электрода, *в*	Наибольший ток луча, *мка*
—	—65±30	20—25	—	—	100
—	—65±30	20—25	—	—	100
—	—65±30	20—25	—	—	100
—	—65±30	20—25	—	—	100
—	—37,5±22,5	3,2—6	—	—	100
—	—100±25	9—12	—	—	100
—	—55±25	8—12	—	—	150
300	—60±30	9—14	От —300 до +1 000	500	—
—	—60±30	11,5—13	—	—	150
300	—60±30	11,0—15,5	—	300—600	100
300	—60±30	10—16	От —300 до +1 000	500	—
300	—60±30	10,5—15,5	—	600	100
300	—60±30	10,5—15,5	От —300 до +750	250—500	—
300	—50±30	10,5—15,5	От —300 до +750	500	100
300	—60±30	14—18	От —300 до +1 000	500	—
300	—60±30	13—18	—	500	100

ний в центре экрана. При разрешающей способности в виде дроби числитель ука-

чатое, у остальных трубок—прозрачное. Отклонение луча у всех трубок магнитное. короткое, у остальных трубок—среднее. Номинальное напряжение накала 6,3 *в* (пре- синий, 6ЛК1И—зеленый, 6ЛК1П—красный; у остальных трубок—белый. Трубки для телевизоров прямого видения.

Повышение сверх допустимых значений напряжения накала приводит к сокращению долговечности как подогревателя, так и самого катода. Превышение сверх допустимых значений ускоряющего напряжения также приводит к сокращению срока службы катода вследствие уменьшения (при заданном токе) площади его рабочей

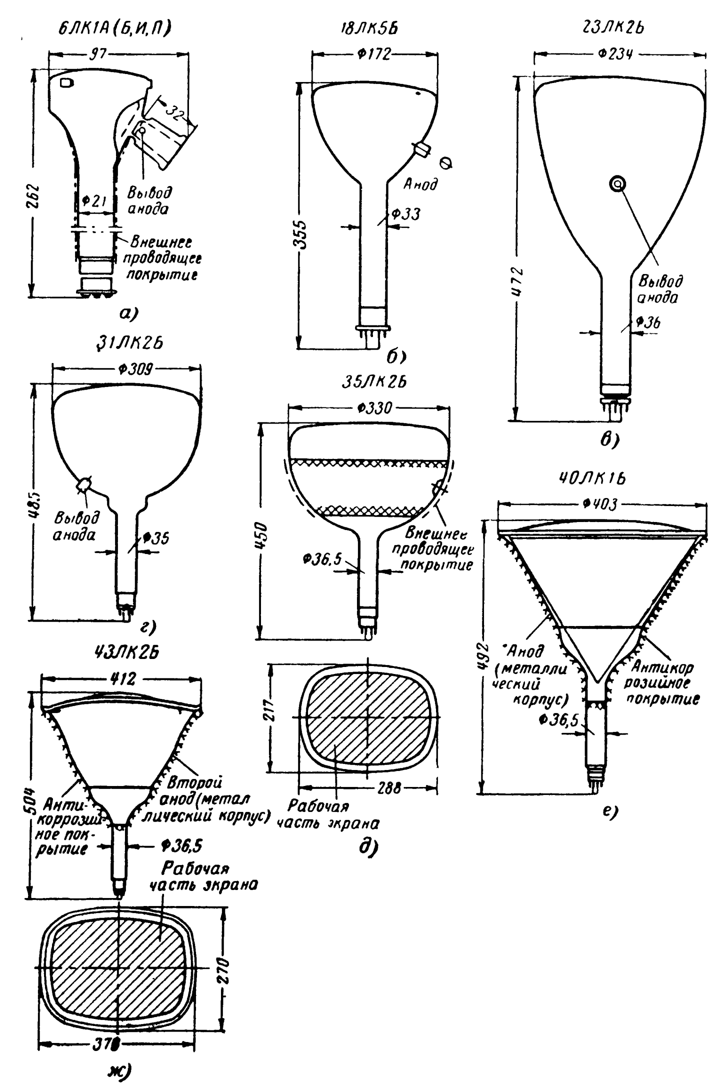
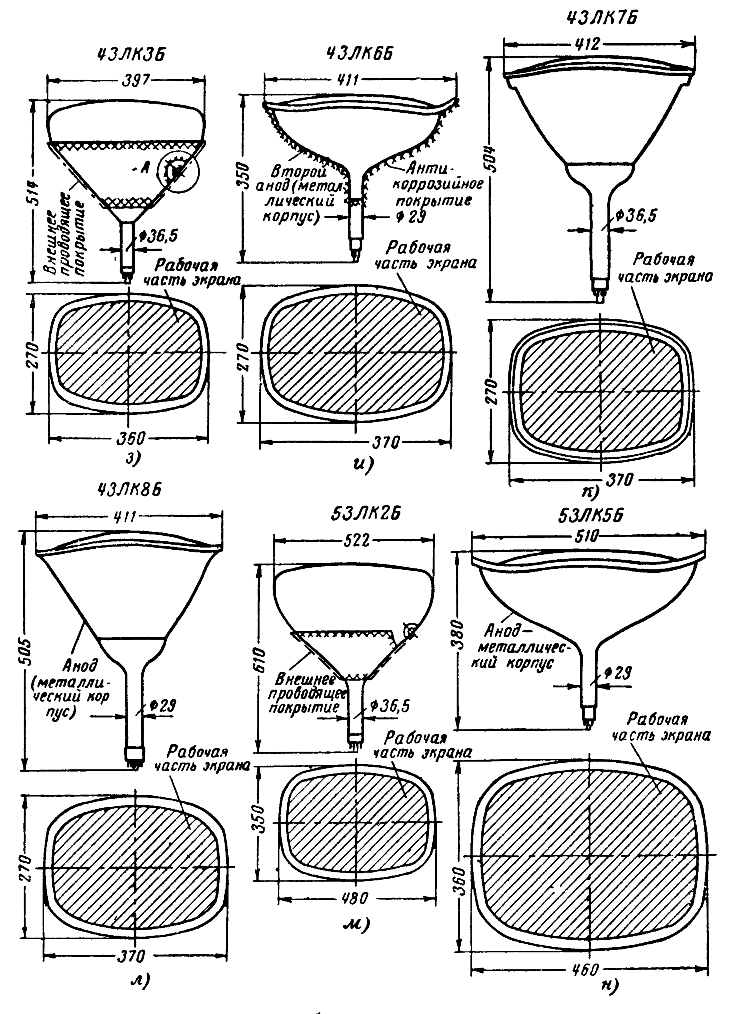


Рис. 46. Габаритные размеры ос

поверхности, а следовательно, увеличения удельной эмиссии и удельной плотности бомбардировки его поверхности положительными ионами остаточных газов.

При значительном повышении напряжений на электродах возможны появление паразитной эмиссии с электродов трубки и связанного с ней паразитного свечения экрана, а также пробой между электродами.

Наконец, разрушение люминофора под действием бомбардировки отрицательными ионами (образование ионного пятна) также про-



новных типов приемных трубок.

исходит быстрее как при перекале катода, так и при повышенном ускоряющем напряжении.

Для трубки вредны также и заниженные напряжения на ее электродах.

Так, при недокале и при значительной плотности тока эмиссии в оксидных катодах происходят местные перегревы отдельных участков оксидного покрытия. Повышение температуры этих участков вызывает возрастание с них тока эмиссии, что в свою очередь при-

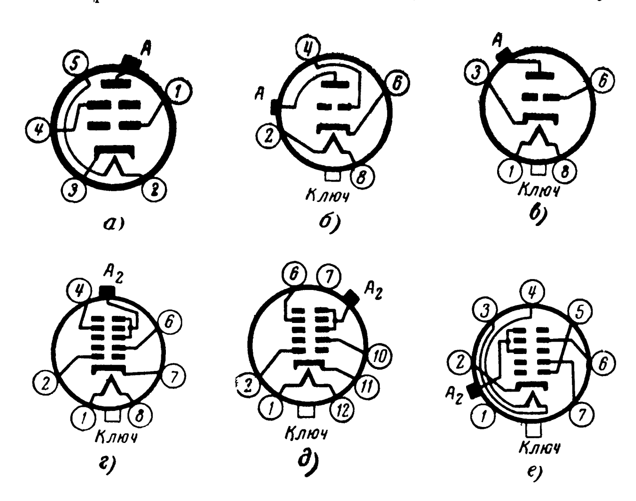


Рис. 47. Цоколевка основных типов приемных трубок.

а — *1* — искрогаситель, *2* и *5* — подогреватель, *3* — катод, *4* — модулятор, *А* — анод; *б* — *2* и *8* — подогреватель, *4* — модулятор, *6* — катод, *А* — анод; *в* — *1* и *8* — подогреватель, *3* — катод, *6* — модулятор, *А* — анод; *г* — *1* и *8* — подогреватель, *2* — модулятор, *4* — первый анод, *6* — ускоряющий электрод, *7* — катод, A_2 — второй анод; *д* — *1* и *12* — подогреватель, *2* — модулятор, *6* — первый анод, *10* — ускоряющий электрод, *11* — катод, A_2 — второй анод; *е* — *2* — катод, *3* и *4* — подогреватель, *5* — модулятор, *6* — первый анод, *7* — ускоряющий электрод, A_2 — второй анод.

водит к еще большему нагреву их. В результате эти участки могут перепреться до температуры испарения оксида, и катод потеряет эмиссию.

Понижение ускоряющего напряжения сокращает долговечность экрана трубки, так как при данном токе луча возрастает удельная объемная нагрузка люминофора — для компенсации уменьшения яркости приходится увеличивать ток луча, а глубина проникания электронов в толщу люминофора при этом уменьшается.

Применяющиеся в трубках катоды допускают подачу между ним и подогревателем постоянного напряжения с полярностью минус на катоде, а плюс на подогревателе и величиной не более 125 *в*. Обратная полярность недопустима.

Не допускается также в трубках подача на управляющий электрод положительного по отношению к катоду напряжения. Максимальное отрицательное напряжение, которое можно подавать на управляющий электрод, обычно не должно превышать 125 *в*.

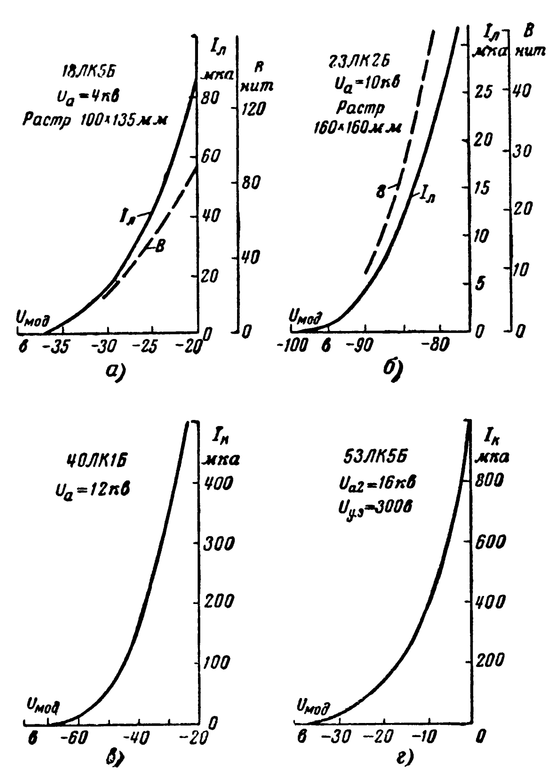


Рис. 48. Кривые зависимости тока луча и яркости свечения экрана от напряжения на управляющем электроде трубки (модуляционные характеристики).

$I_л$ ($I_к$) — ток луча (катода); B — яркость свечения экрана; $U_{мод}$ — напряжение модулятора.

Чтобы не произошло прожигания экрана в случае отсутствия развертки, включать трубки следует при запертом луче, т. е. при поданном на управляющий электрод отрицательном напряжении достаточной величины. По истечении примерно двух минут, необходимых для достижения катодом трубки нормальной рабочей температуры, следует медленно снижать запирающее напряжение, внимательно наблюдая за экраном — нормально ли развертывается луч.

При ускоряющих напряжениях более 20 *кв* следует принимать меры для защиты зрителей от рентгеновского излучения.

СОДЕРЖАНИЕ

Цена 18 коп.